

PCT/JP 2004/008603

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

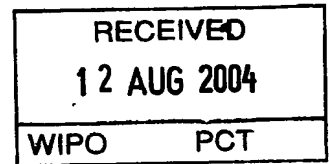
23. 6. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   7 月 2 8 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 2 0 2 4 3 3  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 3 - 2 0 2 4 3 3 ]



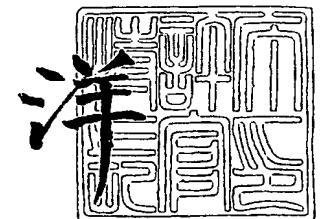
出 願 人            株式会社日立国際電気  
Applicant(s):

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年   7 月 3 0 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



出証番号   出証特 2 0 0 4 - 3 0 6 7 5 4 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 20310144

【提出日】 平成15年 7月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/22

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中野区東中野三丁目 1 4 番 2 0 号 株式会社日立  
国際電気内

【氏名】 田中 和夫

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中野区東中野三丁目 1 4 番 2 0 号 株式会社日立  
国際電気内

【氏名】 上野 正昭

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中野区東中野三丁目 1 4 番 2 0 号 株式会社日立  
国際電気内

【氏名】 杉下 雅士

【特許出願人】

【識別番号】 000001122

【氏名又は名称】 株式会社日立国際電気

【代理人】

【識別番号】 110000039

【氏名又は名称】 特許業務法人 アイ・ピー・エス

【代表者】 早川 明

【電話番号】 045-441-3850

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 132839

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0204827

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体処理装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

処理室内に收容された基板を加熱する加熱手段と、  
前記処理室内の温度を検出する温度検出手段と、  
前記基板の温度を周期的に予測する基板温度予測手段と、  
前記温度検出手段が検出した前記処理室内の温度と、前記基板温度予測手段が  
1 回前の周期で予測した予測温度とを混合して、前記基板温度予測手段により前  
記 1 回前の周期の次回の周期における温度を予測し、該予測温度を用いて前記加  
熱手段を制御する制御手段と  
を有する基板処理装置。

【請求項 2】

処理室内に收容された基板を加熱する加熱手段と、  
前記加熱手段の近傍の温度を検出する第 1 の温度検出手段と、  
前記基板の近傍の温度を検出する第 2 の温度検出手段と、  
前記第 1 の温度検出手段が検出した温度から算出する前記基板の第 1 の予測温  
度と、前記第 2 の温度検出手段が検出した温度から算出する前記基板の第 2 の予  
測温度とを混合させ、該混合した予測温度を用いて前記加熱手段を制御する制御  
手段と  
を有する基板処理装置。

【請求項 3】

前記加熱手段は、  
複数の加熱ゾーンそれぞれに対応する複数のゾーン加熱手段を有し、  
前記基板温度予測手段は、  
前記複数のゾーン加熱手段それぞれが予測温度の対象となる前記基板の温度に  
対して干渉する度合いにより、前記予測温度の対象となる前記基板ごとに対応す  
る仮想温度検出手段の検出予測値を算出し、該検出予測値と、前記 1 回前の周期  
の予測温度とを用いて、前記 1 回前の周期の次回の周期における温度を予測する

請求項 1 記載の基板処理装置。

【請求項 4】

前記制御手段が前記加熱手段の出力を制御する周期と略同一の周期で前記温度検出手段が検出する温度を表示および記録またはこれらのいずれかによって出力する出力手段をさらに有する

請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の基板処理装置。

【請求項 5】

処理室内に收容された基板を加熱する工程と、

前記処理室内の温度を検出する工程と、

前記基板の温度を周期的に予測する工程と、

前記検出した前記処理室内の温度と、前記周期的に予測した温度の 1 回前の周期で予測した予測温度とを混合して、前記 1 回前の周期の次の周期における温度を予測し、該予測温度を用いて基板の加熱を制御する工程と

を有する基板処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、シリコンウェハ等の基板を処理する基板処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

縦型熱処理炉などによって、シリコンウェハ等の基板を熱処理する場合、基板温度を設定温度（目標値）に近づけるために、反応室の周囲に設けられたヒータの出力を制御することは周知である。

例えば、特許文献 1 は、反応室内の基板が複数のヒータから受ける熱干渉と、設定温度に対する基板温度の誤差とに基づいて、ヒータの出力を制御することを開示する。

しかしながら、処理される基板のサイズが大きい場合などに、反応室内で検出される温度変化と基板の温度変化との間に大きな違いが生じることがある。

【0003】

【特許文献1】特開2002-175123号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上述した背景からなされたものであり、基板の温度を容易に制御することができる基板処理装置を提供することを目的としている。

【0005】

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するために、本発明に係る第1の基板処理装置は、処理室内に收容された基板を加熱する加熱手段と、前記処理室内の温度を検出する温度検出手段と、前記基板の温度を周期的に予測する基板温度予測手段と、前記温度検出手段が検出した前記処理室内の温度と、前記基板温度予測手段が1回前の周期で予測した予測温度とを混合して、前記基板温度予測手段により前記1回前の周期の次の周期における温度を予測し、該予測温度を用いて前記加熱手段を制御する制御手段とを有する。

【0007】

また、本発明に係る第2の基板処理装置は、処理室内に收容された基板を加熱する加熱手段と、前記加熱手段の近傍の温度を検出する第1の温度検出手段と、前記基板の近傍の温度を検出する第2の温度検出手段と、前記第1の温度検出手段が検出した温度から算出する前記基板の第1の予測温度と、前記第2の温度検出手段が検出した温度から算出する前記基板の第2の予測温度とを混合させ、該混合した予測温度を用いて前記加熱手段を制御する制御手段とを有する。

【0008】

好適には、前記加熱手段は、複数の加熱ゾーンそれぞれに対応する複数のゾーン加熱手段を有し、前記基板温度予測手段は、前記複数のゾーン加熱手段それぞれが予測温度の対象となる前記基板の温度に対して干渉する度合いにより、前記予測温度の対象となる前記基板ごとに対応する仮想温度検出手段の検出予測値を算出し、該検出予測値と、前記1回前の周期の予測温度とを用いて、前記1回前の周期の次の周期における温度を予測する。

## 【0009】

好適には、前記制御手段が前記加熱手段の出力を制御する周期と略同一の周期で前記温度検出手段が検出する温度を表示および記録またはこれらのいずれかによって出力する出力手段をさらに有する。

## 【0010】

本発明に係る基板処理方法は、処理室内に収容された基板を加熱する工程と、前記処理室内の温度を検出する工程と、前記基板の温度を周期的に予測する工程と、前記検出した前記処理室内の温度と、前記周期的に予測した温度の1回前の周期で予測した予測温度とを混合して、前記1回前の周期の次の周期における温度を予測し、該予測温度を用いて基板の加熱を制御する工程とを有する。

## 【0011】

## 【発明の実施の形態】

## [本発明の背景]

本発明の理解を助けるために、実施形態の説明に先立って、まず、本発明がなされるに至った背景を説明する。

## 【0012】

## [半導体処理装置1]

図1は、本発明が適応される半導体処理装置1の全体構成を示す図である。

図2は、図1に示したポート108を収容した状態の反応炉（処理室）3およびその周辺を例示する図である。

## 【0013】

図1に示すように、半導体処理装置1は、カセット移載機100、カセット移載機100の背面側に設けられたカセットストッカ102、カセットストッカ102の下方に設けられた移載棚104、移載棚104の背面側に設けられた基板移載機106、基板移載機106の背面側に設けられ、複数の基板がセットされたポート108を昇降させる昇降機110、昇降機110の上方に設けられた反応炉3、反応炉3内の温度を制御する温度コントローラ4、および、作業員からの操作を受け入れて、半導体処理装置1を構成する各部を制御する装置操作部2から構成される。

## 【0014】

図2に示すように、図1に示した反応炉3は、円筒状のインナーチューブ30、例えば石英からなるアウターチューブ32、アウターチューブ32の周囲に円筒状に形成されたヒータ34、ガス導入口320、ガス排気口322、シールキヤップ324およびガス流量調整器（図示せず）などのその他の構成部分から構成され、断熱材36により覆われている。

## 【0015】

ヒータ34は、それぞれ温度の設定および調節が可能なゾーンヒータ340-1～340-4を含む。

ゾーンヒータ340-1～340-4は、例えば、1つの連続したヒータ34の巻線から、複数のタップを引き出すことにより、あるいは、それぞれ独立した巻線を有する4個のヒータを設けることにより実現される。

このように、反応炉3には、ゾーンヒータ340-1～340-4により、それぞれ温度の設定および調節が可能な4つの温度調節ゾーン（U，CU，CL，L）が形成されている。

ヒータ34のゾーンヒータ340-1～340-4それぞれは、温度コントローラ4を介して装置操作部2に接続され、装置操作部2の制御に基づいて反応炉3内を加熱する。外部熱電対342-1～342-4は、ゾーンヒータ340-1～340-4それぞれの近傍の温度をサンプリングして検出する。

## 【0016】

インナーチューブ30は、内部に反応室300が形成されている。

反応室300の温度調節ゾーン（U，CU，CL，L）それぞれに対応する位置に内部熱電対302-1～302-4を配設する。

内部熱電対302-1～302-4は、温度調節ゾーン（U，CU，CL，L）それぞれにおいて、基板近傍の温度をサンプリングして検出する。

アウターチューブ32とインナーチューブ30とは、ヒータ34と同心に設けられ、これらの間には、閉塞された筒状空間が形成されている。

ポート108は、反応炉3内において、基板が処理される際に、基板の周方向に回転するように設置されている。



また、内部熱電対 302-1～302-4 および外部熱電対 342-1～342-4 は、それぞれ基板が処理される際にも温度を検出することができる。

#### 【0017】

なお、以下の説明においては、内部熱電対 302-1～302-4 など、複数ある構成部分のいずれかを特定せずに示す場合には、単に、内部熱電対 302 と略記することがある。

また、以下の説明においては、4つの温度調節ゾーン（U、CU、CL、L）は、それぞれUゾーン（U）、CUゾーン（CU）、CLゾーン（CL）およびLゾーン（L）と略記することがある。

#### 【0018】

##### [装置操作部 2]

図3は、装置操作部2の構成を示す図である。

図3に示すように、装置操作部2は、操作制御部20、表示・入力部22、記録出力部24、記憶部26、および、通信部28から構成される。

#### 【0019】

操作制御部20は、CPU200およびメモリ202などを含み、装置操作部2を構成する各部を制御し、通信部28を介して半導体処理装置1を構成する部分を制御する。

表示・入力部22は、例えばタッチパネルからなり、周期変更部220を含んで作業からの半導体処理装置1に対する設定、設定温度（目標値）および指示などを受入れると共に、半導体処理装置1の動作情報等を表示する。

周期変更部220は、例えば作業から出力周期を変更する指示を受入れると、温度コントローラ4が内部熱電対302および外部熱電対342などから受入れた温度データを、記録出力部24および記憶部26などに操作制御部20を介して出力する周期を変更する。

例えば、周期変更部220は、操作制御部20が温度コントローラ4を介してヒータ34を制御する周期に対し、略同一の周期で温度コントローラ4が内部熱電対302および外部熱電対342などから受入れた温度データが記録出力部24および記憶部26などから出力されるようにする。

記録出力部 24 は、内部熱電対 302 および外部熱電対 342 などの検出結果を、周期変更部 220 によって設定された周期に従って、例えばグラフ用紙に記録し、出力する。

記憶部 26 は、例えば HDD、CD などからなり、半導体処理装置 1 が行う処理シーケンス情報（レシピ）並びに通信部 28 および記録媒体 260 を介して受入れた情報を記憶する。

レシピは、作業者により装置操作部 2 を介して設定され、記憶部 26 に記憶される。

### 【0020】

つまり、装置操作部 2 は、半導体処理装置 1 を制御可能な一般的なコンピュータとしての構成部分を含む。

このように、装置操作部 2 は、これらの構成部分により、半導体処理装置 1 の各構成部分を制御して基板に対する処理を行わせる。

### 【0021】

#### [温度コントローラ 4]

図 4 は、温度コントローラ 4 の構成を示す図である。

図 4 に示すように、温度コントローラ 4 は、CPU 40 およびメモリ 42 などを含み、内部熱電対 302-1～302-4 および外部熱電対 342-1～342-4 それぞれから温度データを受け入れ、ゾーンヒータ 340-1～340-4 それぞれの電力値を受け入れ、作業者が設定した設定温度 S（目標値）および後述するパラメータなどの制御信号を装置操作部 2 から受け入れて、後述する電力値（操作量 Z）をゾーンヒータ 340-1～340-4 に対して出力し、ゾーンヒータ 340-1～340-4 が発生させる熱量を変化させる。

また、温度コントローラ 4 は、内部熱電対 302 および外部熱電対 342 から受入れた温度データ、並びに、ゾーンヒータ 340-1～340-4 それぞれから受入れた電力値を装置操作部 2 に対して出力する。

### 【0022】

#### [半導体処理装置 1 による処理の概要]

半導体処理装置 1 は、例えば、縦型 CVD 装置であって、これらの構成部分に

より、装置操作部 2 (図 1) からの操作にしたがって制御され、反応炉 3 内のポート 108 に所定の間隔で載置された基板に対し、CVD により、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 膜、SiO<sub>2</sub> 膜、ポリシリコン (Poly-Si) 膜の形成 (成膜処理) およびアニール処理などを行う。

#### 【0023】

半導体処理装置 1 による処理をさらに説明する。

まず、カセット移載機 100 は、複数枚の基板を収納したカセットをカセットストッカ 102 に移載して保管し、さらにカセットから基板を取り出すための移載棚 104 に移載する。

次に、基板移載機 106 は、移載棚 104 に載置されたカセットから基板を取り出し、基板をポート 108 に載置する。

ポート 108 は、所定の枚数の基板を載置されると、昇降機 110 によって反応室 300 に挿入される。

そして、反応炉 3 は、シールキャップ 324 によって密閉される。

#### 【0024】

反応炉 3 において、基板はゾーンヒータ 340-1~340-4 によって処理温度まで加熱されると、処理用ガスがガス導入口 320 から導入される。

この加熱の際には、温度コントローラ 4 は、外部熱電対 342-1~342-4 および内部熱電対 302-1~302-4 それぞれが検出する温度と、装置操作部 2 から受入れた制御信号とに基づいて、ゾーンヒータ 340-1~340-4 に対する電力値を制御する。

そして、処理用ガスは、反応室 300 内に位置するポート 108 に載置された基板に向けて上昇し、基板の処理が行われる。

処理後の処理用ガスは、ガス排気口 322 から排出される。

#### 【0025】

基板の処理が終了すると、例えば反応炉 3 内の温度を降温させた後、ポート 108 を反応炉 3 からアンロードし、ポート 108 に支持された全ての基板が冷えるまで、ポート 108 を所定位置で待機させる。

基板が所定温度まで冷却されると、基板移載機 106 は、ポート 108 から基

板を取り出し、移載棚 104 のカセットに収納する。

処理後の基板を収納されたカセットは、カセット移載機 100 によって搬出されて完了する。

#### 【0026】

[処理における反応炉 3 内の温度変化]

次に、半導体処理装置 1 の処理における反応炉 3 内の温度変化について説明する。

図 5 は、上述した半導体処理装置 1 による処理のシーケンスにおいて、反応炉 3 の温度変化に対応する工程を例示するフローチャート (S10) である。

図 6 は、反応炉 3 の温度変化の概略を図 5 に示した S10 に対応させて示すグラフである。

図 5 に示すように、ステップ 100 (S100) において、ヒータ 34 は、ボート 108 が反応炉 3 内に挿入される以前に、反応炉 3 の温度を処理の際に設定される温度よりも低い温度  $T_s$  に維持するように加熱する。

#### 【0027】

ステップ 102 (S102) において、ボート 108 に載置された基板が反応炉 3 内に挿入される。

反応炉 3 内の温度は、ボート 108 が挿入されることにより  $T_s$  よりも一旦低下 (図 6 参照) した後に、ヒータ 34 によって  $T_s$  に戻される。

#### 【0028】

ステップ 104 (S104) において、ヒータ 34 は、温度コントローラ 4 から受入れる電力値に基づいて、成膜処理などの処理を施すための設定温度  $T_p$  まで反応炉 3 内の温度を徐々に上昇させる (ランプアップ)。

#### 【0029】

ステップ 106 (S106) において、ヒータ 34 は、基板に成膜処理などの処理が施されるように、反応炉 3 内の温度を設定温度  $T_p$  に維持する。

#### 【0030】

ステップ 108 (S108) において、ヒータ 34 は、温度コントローラ 4 から受入れる電力値に基づいて、反応炉 3 内の温度を  $T_p$  から再び  $T_s$  まで徐々に

降下させる（ランプダウン）。

#### 【0031】

ステップ110（S110）において、ポート108に載置された基板が反応炉3から引き出される。

反応炉3内の温度は、ポート108が反応炉3から引き出されることにより、 $T_s$ よりも低下する。

#### 【0032】

半導体処理装置1による処理のシーケンス（S10）は、繰り返し行われるので、各ステップを短時間で実行することにより、処理の生産性を向上させることができる。

#### 【0033】

しかしながら、基板の直径が300mmの場合などに、反応室300内で検出される温度変化と基板の温度変化との間に違いが生じることがある。

図7は、反応炉3のランプアップ時における内部熱電対302の温度および基板の温度の変化例を示す図である。

図7に示すように、反応炉3（図2）において、例えば直径が300mmの基板の温度を上昇させる場合、作業者が装置操作部2を介してヒータ34に設定した設定温度Sの変化に対し、内部熱電対302が検出する内部熱電対温度P、および、基板の中心の温度（基板中心温度C）並びに基板のエッジ（外周）の温度（基板エッジ温度W）は異なる温度変化をする。

なお、以下の説明においては、基板中心温度Cおよび基板エッジ温度Wなど、基板における異なった位置で検出された温度のいずれかを特定せずに示す場合には、単に、基板温度と略記することがある。

#### 【0034】

図8は、温度モニタ基板400の温度検出位置を示す図である。

図8に示すように、温度モニタ基板400には、例えば該温度モニタ基板400上の中心に中心熱電対402、内周に4つの内周熱電対404-1～404-4および外周に外周熱電対406-1～406-4の9つの熱電対が設けられており、それぞれの熱電対は検出した温度を例えば温度コントローラ4に対して出

力する。

つまり、温度モニタ基板 400 は、ポート 108 に載置されることにより、反応炉 3 内において基板が処理される際の基板の温度を、処理前に同じ位置で検出することができるようにされている。

また、基板が実際に処理される際には、該基板はポート 108 に載置された状態で回転するので、例えば基板の外周の温度（基板エッジ温度 W）は、外周熱電対 406-1～406-4 それぞれから検出された温度の平均値とされている。

#### 【0035】

図 9 は、ポート 108 内の基板配置例を示す模式図である。

図 9 に示すように、反応炉 3 内で製品用の基板 5 が処理される際には、ポート 108 の最上部付近および最下部付近に、それぞれ上部ダミー基板 50 および下部ダミー基板 52 が配置されている。

上部ダミー基板 50 および下部ダミー基板 52 は、例えば成膜処理を行う際に、ポート 108 の最上部付近および最下部付近では、基板が製品になるように成膜をさせることが困難であるために設けられ、処理の種類および装置の種類によって配置される枚数が変更される。

#### 【0036】

また、ポート 108 には、上部ダミー基板 50 の下方に上部モニタ基板 54 が、下部ダミー基板 52 の上方に下部モニタ基板 56 がそれぞれ配置され、上部モニタ基板 54 と下部モニタ基板 56 との間に製品用の複数の基板 5 が配置されている。

さらに、上部モニタ基板 54 と下部モニタ基板 56 との間に配置された複数の基板 5 の中央付近には、中央モニタ基板 58 が配置されている。

上部モニタ基板 54、下部モニタ基板 56 および中央モニタ基板 58 は、基板 5 を処理する際に、例えばそれぞれ一枚ずつ配置され、基板 5 の成膜結果を確認する指標にされる。

#### 【0037】

上述した基板中心温度 C および基板エッジ温度 W は、処理前に上部モニタ基板 54、下部モニタ基板 56 および中央モニタ基板 58 の位置に、温度モニタ基板

400がそれぞれ配置されることにより、上部モニタ基板54、下部モニタ基板56および中央モニタ基板58それぞれの位置で検出される。

例えば、中央モニタ基板58の位置において、基板中心温度Cおよび基板エッジ温度Wは、図7に示したように変化する。

#### 【0038】

なお、以下の説明においては、ポート108の上部モニタ基板54、下部モニタ基板56および中央モニタ基板58の位置それぞれに配置された温度モニタ基板400を、それぞれ上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタと略記することがある。

また、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタのいずれかを特定せずに示す場合には、単に、温度モニタと略記することがある。

#### 【0039】

図7においては、設定温度Sを600°Cから800°Cまで、毎分50°Cのレートで変化させた場合、内部熱電対302が示す内部熱電対温度Pは、設定温度Sに対して遅れて上昇し、800°Cを少し行き過ぎた後に約800°Cで安定している。

一方、基板エッジ温度Wは、ランプアップの開始直後から設定温度Sよりも高温の状態で昇温し、設定温度Sが800°Cまで昇温すると、ゆっくり降温して約800°Cで安定している。

また、基板中心温度Cは、内部熱電対温度Pよりもさらに遅れて昇温し、内部熱電対温度Pよりも高温になった後に約800°Cで安定している。

#### 【0040】

このように、内部熱電対302の内部熱電対温度Pが設定温度Sに近づくように、PID制御などによってヒータ34の出力が制御された場合、基板エッジ温度Wおよび基板中心温度Cは、内部熱電対温度Pとは異なる特性で変化することがある。

例えば、基板5（図9）の直径が300mmの場合、ポート108に載置する基板枚数が少ない少量バッチ式の反応炉3（図2）などにおいては、基板間の間隔が大きくなり、基板5よりも熱量を受けにくい内部熱電対302が設定温度S

に近づくようにPID制御などによって制御されると、基板エッジ温度Wおよび基板中心温度Cは、設定温度Sに対する行き過ぎ量（オーバーシュート）が大きくなり、安定するまでの時間が長くなることがある。

#### 【0041】

##### [実施形態]

以下、本発明の実施形態を説明する。

以下の実施形態においては、製品用の基板が処理される前に、上部モニタ基板54、下部モニタ基板56および中央モニタ基板58それぞれの位置に温度モニタ基板400を配置し、基板中心温度Cおよび基板エッジ温度Wを検出する半導体処理装置1が具体例として示されている。

#### 【0042】

図2に示した反応炉3を有する半導体処理装置1（図1）において、温度コントローラ4は、装置操作部2の制御に基づいて、製品用の基板5が処理される前に、反応炉3の温度を基板5を処理する際と同じように変化させ、上部モニタ基板54、下部モニタ基板56および中央モニタ基板58それぞれの位置に配置された温度モニタ基板400と、内部熱電対302-1～302-4および外部熱電対342-1～342-4とを介し、それぞれの熱電対が配置されている位置での温度変化を受け入れて、複数の基板5（図9参照）が処理される際の基板5の温度を予測する。

#### 【0043】

##### [半導体処理装置1の基板温度予測制御]

半導体処理装置1は、基板温度を予測し、予測された基板温度が設定温度に近づくようにヒータ34の出力を制御して基板温度の予測制御を行う。

また、半導体処理装置1は、上述したように基板温度予測制御に必要な温度データを取得する温度コントローラ4、並びに、基板温度予測制御に必要なパラメータの入力、および基板温度予測制御の実行指示を受入れる装置操作部2を有する。

以下、基板温度の予測および予測された基板温度に基づく基板温度予測制御、並びに基板温度予測制御に必要な温度データの取得、基板温度予測制御に必要な



パラメータの入力および基板温度予測制御の実行について例を示して説明する。

#### 【0044】

##### [基板温度の予測]

図10は、図7に示した内部熱電対302などの温度変化例に対し、外部熱電対342の示す外部熱電対温度Hの変化例を加えて示したグラフである。

外部熱電対342は、熱源となるゾーンヒータ340に最も近い位置で反応炉3内の温度を検出するので、ゾーンヒータ340に設定した設定温度Sの変化に対する外部熱電対温度Hの応答が基板エッジ温度Wの応答よりも速くなっている。

また、内部熱電対302は基板よりも熱量を受けにくいので、設定温度Sの変化に対する内部熱電対温度Pの応答が基板エッジ温度Wの応答よりも遅くなっている。

このように、ゾーンヒータ340の温度変化に対し、外部熱電対温度Hが最も速く応答し、外部熱電対温度Hの次に基板エッジ温度W、内部熱電対温度P、基板中心温度Cの順に応答する。

#### 【0045】

半導体処理装置1において、温度コントローラ4は、装置操作部2の制御に基づいて、例えば、数百ms～数秒の制御周期ごとに、各熱電対によって検出された温度と、設定温度Sとから、PID演算などによりゾーンヒータ340への電力値（操作量）を算出し、ゾーンヒータ340の発熱量を制御（デジタル制御）している。

#### 【0046】

まず、ランプアップ開始からt回目（tは整数）の制御周期において、予測される基板エッジ温度Wの値を $W(t)$ とし、t-1回目の制御周期における基板エッジ温度Wの値を $W(t-1)$ とする。

ランプアップ開始からt回目の制御周期における外部熱電対温度Hの値を $H(t)$ とし、t-1回目の制御周期における外部熱電対温度Hの値を $H(t-1)$ とする。

また、ランプアップ開始からt回目の制御周期における内部熱電対温度Pの値

を  $P(t)$  とし、 $t-1$  回目の制御周期における内部熱電対温度  $P$  の値を  $P(t-1)$  とする。

【0047】

図10において、設定温度  $S$  の変化に対し、基板エッジ温度  $W$  の応答は、外部熱電対温度  $H$  の応答よりも遅いという特性が示されている。

つまり、基板エッジ温度  $W$  は、外部熱電対温度  $H$  に対して遅れて変化するとみなすことができる。

よって、基板エッジ温度  $W$  を1つの系の温度とすると、基板エッジ温度  $W(t)$  は、外部熱電対温度  $H(t)$  を一次遅れ演算することによって表され、さらに、基板エッジ温度  $W$  の時定数  $T1$  により、基板エッジ温度  $W(t-1)$  と外部熱電対温度  $H(t-1)$  との混合比を調節して、下式1に示すようにおくことができる。

【0048】

【数1】

$$W(t) = (K1 \times H(t-1) + T1 \times W(t-1)) \div (1 + T1) \quad \dots (1)$$

但し、 $K1$  は、基板エッジ温度  $W$  に対する外部熱電対温度  $H$  のゲインを示す。

$T1$  は、基板エッジ温度  $W$  の時定数を示す。

【0049】

また、図10において、内部熱電対温度  $P$  の応答は、外部熱電対温度  $H$  の応答よりも遅いという特性が示されている。

つまり、内部熱電対温度  $P$  は、外部熱電対温度  $H$  に対して遅れて変化するとみなすことができる。

よって、内部熱電対温度  $P$  を1つの系の温度とすると、内部熱電対温度  $P(t)$  は、外部熱電対温度  $H(t)$  を一次遅れ演算することによって表され、さらに、内部熱電対温度  $P$  の時定数  $T2$  により、内部熱電対温度  $P(t-1)$  と外部熱

電対温度  $H(t-1)$  との混合比を調節して、下式 2 に示すようにおくことができる。

【0050】

【数 2】

$$P(t) = (K2 \times H(t-1) + T2 \times P(t-1)) \div (1 + T2) \cdots (2)$$

但し、 $K2$  は、内部熱電対温度  $P$  に対する外部熱電対温度  $H$  のゲインを示す。  
 $T2$  は、内部熱電対温度  $P$  の時定数を示す。

【0051】

式 1 を変形することにより、外部熱電対温度  $H(t-1)$  は、下式 3 に示すように表される。

【0052】

【数 3】

$$H(t-1) = [(T1 + 1) \times W(t) - T1 \times W(t-1)] \div K1 \cdots (3)$$

【0053】

また、式 3 が式 2 に代入されると、基板エッジ温度  $W(t)$  は、下式 4 に示すように表される。

【0054】

【数 4】

$$W(t) = [K1 \times (T2 + 1) \times P(t) - K1 \times T2 \times P(t-1) + K2 \times T1 \times W(t-1)] \div [K2 \times (1 + T1)] \cdots (4)$$

## 【0055】

ここで、式1に示し、外部熱電対温度Hから予測した基板エッジ温度W(t)を外部予測温度HW(t)とする。

また、式4に示し、内部熱電対温度Pから予測した基板エッジ温度W(t)を内部予測温度PW(t)とする。

式4においては、設定温度Sの変化に対し、基板エッジ温度Wの応答よりも遅れて変化する内部熱電対温度Pにより、基板エッジ温度Wを予測することとなる。

## 【0056】

そして、図10における内部熱電対温度Pの変動の大きい領域では、外部熱電対温度Hから予測した外部予測温度HW(t)に重みをつけ、内部熱電対温度Pの変動の小さい領域では、内部熱電対温度Pから予測した内部予測温度PW(t)に重みがつくように、外部予測温度HW(t)と内部予測温度PW(t)との混合比を、後述する重みa(t)によって補間することにより、重み付けされた基板エッジ予測温度W'(t)が下式5に示すように表される。

## 【0057】

## 【数5】

$$W'(t) = (HW(t) \times a(t) + PW(t)) \div (a(t) + 1) \cdots (5)$$

## 【0058】

重みa(t)は、内部熱電対温度Pの変動の大きさ(変化率)を示し、下式6に示すように表される。

## 【0059】

## 【数 6】

$$a(t) = | \{ (P(t) - P(t-1)) + (a(t-1) \times b) \} \div (1+b) | \times C \cdots (6)$$

但し、式6内の|は、絶対値を示す。

bは、重みa(t)のフィルタ時定数を示す。

Cは、a(t)の重みゲインを示す。

## 【0060】

以上のように、外部予測温度HW(t)および内部予測温度PW(t)により、基板エッジ予測温度W'(t)を求めることができる。

なお、温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」は、基板温度の予測制御を行う半導体処理装置1ごとに個別に設定することが必要である。

## 【0061】

次に、外部予測温度HW(t)および内部予測温度PW(t)の具体的な決定方法について説明する。

例えば、ポート108に配置される温度モニタ基板400の枚数と、ゾーンヒータ340の数とが一致していて、温度調節ゾーンごとに外部熱電対342、内部熱電対302の測定位置（高さ方向）および数と温度モニタ基板400の配置（載置）位置（高さ方向）および数がそれぞれ一致している場合には、式1～式6にそれぞれ対応する値を代入することにより基板エッジ予測温度W'(t)を算出することができる。

## 【0062】

一方、例えば本発明の実施形態に示した半導体処理装置1においては、4つの温度調節ゾーン（U, CU, CL, L）が設けられており、ポート108には上部モニタ基板54、下部モニタ基板56および中央モニタ基板58の位置それぞれに1枚ずつの温度モニタ基板400が配置されるので、4つの外部熱電対温度Hおよび内部熱電対温度Pから、3枚の温度モニタ基板400それぞれに対応する仮想温度検出手段となる外部熱電対温度Hおよび内部熱電対温度Pを算出する

必要がある。

仮想温度検出手段とは、通常、内部熱電対 302 および外部熱電対 342 の測定ポイントは限られる数となっており、必ずしも測定予測したい基板の位置（高さ方向、基板の主面に対し鉛直方向）の近傍の位置（高さ方向、基板の主面に対し鉛直方向）となるわけではないため、内部熱電対 302 または外部熱電対 342 と、各基板と温度調節ゾーンの干渉関係を用いて、測定予測したい基板の位置（高さ方向、基板の主面に対し鉛直方向）に対応する内部熱電対 302 または外部熱電対 342 の最も近傍で最適な位置（高さ方向、基板の主面に対し鉛直方向）を仮想し、求められた検出手段のことである。

なお、ここでは、内部熱電対 302 または外部熱電対 342 で説明したが、予測したい基板と温度調節ゾーンとの干渉関係が算出可能であれば適用できる。

#### 【0063】

例えば、外部熱電対 342-1～342-4 および内部熱電対 302-1～302-4 それぞれにより検出された温度から、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタの温度を予測する場合、それぞれの温度モニタ基板 400 に対応する外部熱電対温度 H および内部熱電対温度 P は、ゾーンヒータ 340-1～340-4 それぞれが 3 枚の温度モニタ基板 400 それぞれの温度に干渉する度合いによって算出される。

#### 【0064】

具体的には、例えば反応炉 3 内の温度が安定している状態から、4 つの温度調節ゾーンの設定温度 S を、1 つずつ、5°C 昇温（ステップアップ）させ、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれの外周熱電対 406-1～406-4 を介して検出される基板エッジ温度 W の変化から、ゾーンヒータ 340-1～340-4 それぞれが各温度モニタ基板 400 の温度に干渉する度合いを算出することができる。

#### 【0065】

図 11 は、4 つの温度調節ゾーンにおいて、内部熱電対 302-1～302-4 に対する設定温度 S を、1 ゾーンずつ 5°C の昇温（ステップアップ）をさせた場合に、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタの基板エッジ

温度Wが変化した例を示す図表である。

図11に示すように、4つの温度調節ゾーンそれぞれの設定温度Sを、1つずつ5°Cの昇温をさせると、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタの基板エッジ温度Wは、それぞれ異なる温度変化を示す。

#### 【0066】

図12は、図11に示した基板エッジ温度Wについて、反応炉3内の温度の安定時を基準とした変化量を示す図表である。

まず、上部温度モニタの温度変化について説明する。

反応炉3内の温度が安定している状態（図11に示す安定時）において、上部温度モニタの基板エッジ温度Wは、852.4°Cとなっている。

まず、Uゾーンのみの設定温度Sを5°C昇温させると、上部温度モニタの基板エッジ温度Wは855.6°Cとなり、安定時を基準とした「変化量」（図12）は3.2°Cとなっている。

同様に、CUゾーン、CLゾーンおよびLゾーンについて、それぞれ順次1つずつ設定温度Sを5°C昇温させた場合、上部温度モニタの基板エッジ温度Wはそれぞれ854.0°C、852.1°C、852.3°Cとなり、安定時を基準としたそれぞれの「変化量」は1.6°C、-0.3°C、-0.1°Cとなっている。

#### 【0067】

つまり、Uゾーン、CUゾーン、CLゾーンおよびLゾーンを1つずつ5°C昇温させると、それぞれ3.2°C、1.6°C、-0.3°C、-0.1°Cの温度変化が上部温度モニタの基板エッジ温度Wに生じる。

また、4つの温度調節ゾーン全ての設定温度を5°C昇温（ゾーンヒータ340-1～340-4をそれぞれ5°C昇温）させた場合、基板エッジ温度Wは、各温度調節ゾーンの温度変化の和となる「変化量の合計」（図12）の変化を示し、4.4°Cの昇温をする。

下部温度モニタおよび中央温度モニタについても同様に、下部温度モニタおよび中央温度モニタの安定時の基板エッジ温度W（図11）、4つの温度調節ゾーンに対して順次1つずつ設定温度Sを5°C昇温させた場合の基板エッジ温度W

、および安定時を基準としたそれぞれの基板エッジ温度Wの「変化量」(図12)が示されている。

#### 【0068】

図13は、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれの図12に示した「変化量の合計」に対する4つの温度調節ゾーンそれぞれの「変化量」の比(変化量÷変化量の合計)を示す図表である。

つまり、図13は、ゾーンヒータ340-1~340-4において内部熱電対302-1~302-4に対する設定温度Sが変化した場合、ゾーンヒータ340-1~340-4それぞれが、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれの基板エッジ温度Wの温度変化に対して干渉する割合(干渉比率)を示している。

上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれに対応する内部熱電対温度Pは、干渉比率により算出され、基板エッジ予測温度W'(t)の予測に使用される。

#### 【0069】

例えば、上部温度モニタの基板エッジ予測温度W' top (t)の予測に用いられる内部熱電対温度P top (t)は、図13に示した干渉比率に基づいて、下式7に示すように表される。

なお、内部熱電対温度Pは、例えば図10に示したように、ランプアップ後に数分で設定温度Sと略同じ温度となる。

#### 【0070】

#### 【数7】

$$P_{top}(t) = [P_u(t) \times 0.727] + [P_{cu}(t) \times 0.364] + [P_{cl}(t) \times (-0.068)] \\ + [P_l(t) \times (-0.023)] \dots (7)$$

但し、 $P_u(t)$ 、 $P_{cu}(t)$ 、 $P_{cl}(t)$ 、 $P_l(t)$ は、Uゾーン、CUゾーン、CLゾーンおよびLゾーンそれぞれの内部熱電対温度を示す。



## 【0071】

式7によって算出された内部熱電対温度  $P_{top}(t)$  は、式4に代入され、上部温度モニタの内部予測温度  $PW_{top}(t)$  の算出に用いられる。

## 【0072】

また、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれに対応する外部熱電対温度  $H$  についても、内部熱電対 302-1 ~ 302-4 に対する設定温度  $S$  によって算出された干渉比率（図13）に基づいて算出してもよい。

例えば、上部温度モニタの基板エッジ予測温度  $W'_{top}(t)$  の予測に用いられる外部熱電対温度  $H_{top}(t)$  は、図13に示した干渉比率に基づいて、下式8に示すように表される。

## 【0073】

## 【数8】

$$H_{top}(t) = [H_u(t) \times 0.727] + [H_{cu}(t) \times 0.364] + [H_{cl}(t) \times (-0.068)] \\ + [H_l(t) \times (-0.023)] \dots (8)$$

但し、 $H_u(t)$ 、 $H_{cu}(t)$ 、 $H_{cl}(t)$ 、 $H_l(t)$  は、Uゾーン、CUゾーン、CLゾーンおよびLゾーンそれぞれの外部熱電対温度を示す。

## 【0074】

式8によって算出された外部熱電対温度  $H_{top}(t)$  は、式1に代入されることにより、上部温度モニタの外部予測温度  $HW_{top}(t)$  の算出に用いられる。

## 【0075】

また、外部熱電対温度  $H$  の算出には、例えば4つの温度調節ゾーンの外部熱電対温度  $H$  を1ゾーンずつ  $5^\circ\text{C}$  の昇温（ステップアップ）をさせ、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれの基板エッジ温度  $W$  の変化から、それぞれの外部熱電対温度  $H$  と基板エッジ温度  $W$  との間の干渉比率を求めて用いてもよい。

以上のように、4つの温度調節ゾーンそれぞれの内部熱電対温度Pおよび外部熱電対温度Hから、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれに対応する内部熱電対温度Pおよび外部熱電対温度Hを算出することにより、それぞれ内部予測温度PW(t)および外部予測温度HW(t)を求めることができる。

また、4つの温度調節ゾーンそれぞれに対応するモニタ基板4枚がある場合においても、それぞれのモニタ基板400の配置されている位置における内部熱電対302および外部熱電対342の最も近傍の位置を干渉具合を求めることにより算出できることになる。

つまり、各温度調節ゾーンにおける各基板に対応した内部熱電対302および外部熱電対342の最適な位置である仮想温度検出手段を干渉関係により導き出せ、この求めた内部熱電対302および外部熱電対342により、基板予測温度を求めることができる。

#### 【0076】

次に、基板エッジ予測温度 $W'(t)$ を算出するための温度予測パラメータ「 $K1, T1, K2, T2, b, C$ 」を決定する手順について、上部温度モニタに対する手順を例として説明する。

図14は、上部温度モニタに対する基板エッジ予測温度 $W'_{top}(t)$ の調整に必要な温度データの例を示すグラフである。

図14には、上部温度モニタに対し、上述したように算出された内部熱電対温度 $P_{top}(t)$ および外部熱電対温度 $H_{top}(t)$ と、外部熱電対温度 $H_{top}(t)$ から式1によって算出された外部予測温度 $HW_{top}(t)$ と、内部熱電対温度 $P_{top}(t)$ から式4によって算出された内部予測温度 $PW_{top}(t)$ と、内部熱電対温度 $P_{top}(t)$ から式6によって算出された重み $a_{top}(t)$ と、これらの値から式5によって算出された基板エッジ予測温度 $W'_{top}(t)$ と、上部温度モニタによって検出された基板エッジ温度 $W_{top}$ とがグラフによって示されている。

#### 【0077】

温度予測パラメータ「 $K1, T1, K2, T2, b, C$ 」は、上部温度モニタ

、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれに対し、図14に示した基板エッジ予測温度 $W'_{top}(t)$ が基板エッジ温度 $W_{top}$ に近づくように、作業者によってゲイン $K_1$ から順次調整されて決定される。

よって、温度予測パラメータ「 $K_1$ ,  $T_1$ ,  $K_2$ ,  $T_2$ ,  $b$ ,  $C$ 」を決定する場合には、図14に例示したグラフのように、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれに対する基板エッジ予測温度 $W'(t)$ などを示すグラフを用いることが好ましい。

#### 【0078】

図15は、温度予測パラメータ「 $K_1$ ,  $T_1$ ,  $K_2$ ,  $T_2$ ,  $b$ ,  $C$ 」を決定する手順を示すフローチャート(S20)である。

なお、図14と対比させるために、上部温度モニタのパラメータを決定する手順を例として説明する。

図15に示すように、ステップ200(S200)において、図14に示されたランプアップ開始時(図14の1~2分の間)の基板エッジ温度 $W_{top}$ に対する外部予測温度 $HW_{top}(t)$ の比から、作業者は式1のゲイン $K_1$ の値を決定する。

好ましくは、基板エッジ温度 $W_{top}$ に対し、外部予測温度 $HW_{top}(t)$ が略等しくなるようにゲイン $K_1$ の値を決める。

#### 【0079】

ステップ202(S202)において、ランプアップ中(図14の1~5分の間)の外部予測温度 $HW_{top}(t)$ が基板エッジ温度 $W_{top}$ の応答にできるだけ近づくように、作業者は式1の時定数 $T_1$ の値を決定する。

#### 【0080】

ステップ204(S204)において、ランプアップ後に基板エッジ温度 $W_{top}$ の温度変化が小さくなった状態(図14の10分以降)で内部予測温度 $PW_{top}(t)$ と基板エッジ温度 $W_{top}$ とが略等しくなるように、作業者は式2のゲイン $K_2$ の値を決定する。

この場合、S200で決定したゲイン $K_1$ の値を初期値としてゲイン $K_2$ の値を調整する。

## 【0081】

ステップ206 (S206) において、内部予測温度  $PW_{top}(t)$  の応答が基板エッジ温度  $W_{top}$  の応答に全体的に近づくように、作業者は式2の時定数  $T_2$  の値を決定する。

## 【0082】

ステップ208 (S208) において、作業者は重みゲイン  $C$  を1.0とし、フィルタ時定数  $b$  を1.0として、重み  $a_{top}(t)$  の変化を確認する。

重み  $a_{top}(t)$  の変化が振動的な場合には、フィルタ時定数  $b$  を例えば1.0, 2.0, 3.0, 4.0のように順次変化させ、重み  $a_{top}(t)$  の変化が振動的でなくなった場合にフィルタ時定数  $b$  の値が決定される。

## 【0083】

ステップ210 (S210) において、ランプアップ終了後 (図14の5分以降) の基板エッジ予測温度  $W'_{top}(t)$  の応答が基板エッジ温度  $W_{top}$  の応答に近づくように時定数  $T_1$ ,  $T_2$  を微調整する。

なお、基板の温度が早く設定温度で安定するように制御するために、ランプアップ中 (図14の1~5分の間) よりも、ランプアップ終了後 (図14の5分以降) におけるそれぞれの温度変化を重視してパラメータの調整を行うことが好ましい。

## 【0084】

S20の手順に従って温度予測パラメータを調整しても、基板エッジ予測温度  $W'_{top}(t)$  の応答と、基板エッジ温度  $W_{top}$  の応答との間に、例えば1.0°C以上の大きな差がある場合、S208で設定した重みゲイン  $C$  の値を例えば0.9, 0.8のように順次小さくなるように変化させ、さらに時定数  $T_1$ ,  $T_2$  の微調整を行うようにしてもよい。

つまり、外部予測温度  $HW_{top}(t)$  よりも内部予測温度  $PW_{top}(t)$  に重みをおくことにより、基板エッジ予測温度  $W'_{top}(t)$  の応答と、基板エッジ温度  $W_{top}$  の応答との差を小さくしてもよい。

また、下部モニタ基板56および中央モニタ基板58に対しても同様に、S20によってそれぞれ温度予測パラメータ「 $K_1$ ,  $T_1$ ,  $K_2$ ,  $T_2$ ,  $b$ ,  $C$ 」を

決定することができる。

#### 【0085】

##### [基板温度予測制御]

温度コントローラ 4 は、上述したように基板温度を予測し、基板温度が設定温度に近づくように、装置操作部 2 の制御に基づいてヒータ 34 の出力を制御する。

半導体処理装置 1 においては、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタの 3 つの温度モニタ基板 400 に対し、4 つのゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 が設けられているので、温度コントローラ 4 は、3 つの温度モニタ基板 400 から受入れる温度データにより、4 つのゾーンヒータ 340 の出力を制御している。

#### 【0086】

つまり、温度コントローラ 4 は、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 それぞれの出力を制御するために 4 つの操作量を算出する。

4 つの操作量は、例えばゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 が上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタに対して熱干渉する比率（干渉比率）によって算出される場合と、後述する干渉行列の逆行列演算結果によって算出される場合とがある。

#### 【0087】

まず、4 つの操作量が干渉比率によって算出される場合について説明する。

4 つの操作量を干渉比率によって算出する場合には、それぞれの温度モニタ基板 400 に対する予測温度と、それぞれの温度モニタ基板 400 の設定温度に対する偏差とをそれぞれの温度調節ゾーン（U，CU，CL，L）に干渉比率に合わせて割り振る。

#### 【0088】

例えば、図 13 に示した干渉比率において、設定温度  $S$  が  $850^{\circ}\text{C}$  であり、上部温度モニタに対する基板エッジ予測温度  $W'_{top}(t)$  が  $845^{\circ}\text{C}$  の場合、上部温度モニタの設定温度に対する基板エッジ予測温度  $W'_{top}(t)$  の偏差は、 $5^{\circ}\text{C}$  ( $850^{\circ}\text{C} - 845^{\circ}\text{C}$ ) となっている。

ここで、基板エッジ予測温度  $W'_{top}(t)$  における各温度調節ゾーン (U, CU, CL, L) への偏差の割り振り量は、式 9-1 ~ 式 9-4 のように表される。

【0089】

【数 9】

$$U \text{ ゾーンへの偏差の割り振り量} = 5^{\circ}C \times 0.727 = 3.635^{\circ}C \quad \dots (9-1)$$

$$CU \text{ ゾーンへの偏差の割り振り量} = 5^{\circ}C \times 0.364 = 1.820^{\circ}C \quad \dots (9-2)$$

$$CL \text{ ゾーンへの偏差の割り振り量} = 5^{\circ}C \times (-0.068) = -0.340^{\circ}C \quad \dots (9-3)$$

$$L \text{ ゾーンへの偏差の割り振り量} = 5^{\circ}C \times (-0.023) = -0.115^{\circ}C \quad \dots (9-4)$$

【0090】

温度コントローラ 4 は、下部温度モニタおよび中央温度モニタに対しても同様に偏差の割り振り量を算出し、温度調節ゾーンごとに割り振られた偏差の合計を求める。

そして、温度コントローラ 4 は、温度調節ゾーンごとに割り振られた偏差の合計を用いて PID 演算などにより、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 それぞれに対する操作量を算出し、温度調節ゾーンごとに割り振られた偏差の合計が零 (0) になるようにゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 の出力を制御する。

【0091】

次に、4 つの操作量が干渉行列の逆行列演算結果によって算出される場合について説明する。

操作量を干渉行列の逆行列演算結果によって算出するために、まず、干渉行列を求める。

上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれにおいて、内部熱電対温度 P の変化に対する基板エッジ温度 W の変化量は、反応炉 3 内の温度の安定時を基準として図 12 に示した値と同じになっているとする。

【0092】

まず、各温度調節ゾーン (U, CU, CL, L) において、内部熱電対温度 P に対する設定温度 S が  $1^{\circ}\text{C}$  変化 (ステップアップ) することに対して、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタの基板エッジ温度 W の変化量を算出する。

つまり、図 12 に示された各温度調節ゾーンの変化量の値をそれぞれ偏差 ( $5^{\circ}\text{C}$ ) で割ることにより、ステップアップに対する基板エッジ温度 W の変化量が算出される。

#### 【0093】

ステップアップに対する基板エッジ温度 W の変化量について、上述したように算出された結果の行と列とを入れ替えたものが図 16 に示されている。

つまり、図 16 は、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれについて、ステップアップに対する基板エッジ温度 W の変化量を示す図表である。

図 16 に示された値を行列とすると、正方行列になっていないので、逆行列演算をするために、図 17 に示すように上部温度モニタの上方に、仮想上部モニタ基板を仮想的に設ける。

つまり、図 17 は、図 16 に示したステップアップに対する基板エッジ温度 W の変化量に対し、ステップアップに対する仮想上部モニタ基板の基板エッジ温度 W の変化量を追加して示す図表である。

なお、仮想的に設けた仮想上部モニタ基板は、簡略化して表現するために、例えば U ゾーンが  $1^{\circ}\text{C}$  変化すると、仮想上部モニタ基板の変化量が  $1^{\circ}\text{C}$  変化し、その他の温度調節ゾーンによっては仮想上部モニタ基板の温度は変化しないこととしている。

また、温度調節ゾーンの数温度モニタ基板 400 の数よりも 2 つ以上多い場合には、仮想的に設ける仮想モニタ基板の数をさらに増やして、温度調節ゾーンの数と温度モニタ基板 400 の数とを揃えて正方行列を構成できるようにしてもよい。

#### 【0094】

図 17 に示した値を行列として示すと、下式 10 のように示され、行列 M を干

渉行列とする。

【0095】

【数10】

$$M = \begin{pmatrix} 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.640 & 0.320 & -0.060 & -0.020 \\ -0.060 & 0.280 & 0.800 & -0.080 \\ -0.080 & -0.140 & 0.420 & 0.620 \end{pmatrix} \quad \dots (10)$$

【0096】

つまり、干渉行列Mは、各温度調節ゾーンの内部熱電対温度Pが1°C変化した場合に、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれにおける基板エッジ温度Wが変化する変化量を表している。

【0097】

なお、本願出願人による他の出願（特願2001-272218；平成13（2001）年9月7日出願）の第[0060]段落などにおいても説明されているように、式10に示した干渉行列Mを用いて、最小二乗法に基づいた逆行列演算をすることは、各温度モニタ基板400の基板エッジ温度Wを変化させるための内部熱電対温度Pの変化量を算出することに相当する。

内部熱電対温度Pの変化量を算出するための逆行列演算は、干渉行列Mを用いて表すと、 $[M^T \times M]^{-1} \times M^T$ となる。（T：転置行列）

式10に示した干渉行列Mの逆行列演算結果は、式11に示されている。

【0098】



## 【数 1 1】

$$[M^T \times M]^{-1} \times M^T = \begin{pmatrix} 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -1.922 & 3.033 & 0.165 & 0.119 \\ 0.672 & -0.930 & 1.120 & 0.115 \\ -0.760 & 1.315 & -0.722 & 1.562 \end{pmatrix} \cdots (11)$$

但し、 $T$  は転置行列、 $^{-1}$  は逆行列演算を表す。

## 【0 0 9 9】

また、各温度調節ゾーンの内部熱電対温度  $P$  が変化するべき変化量は、式 1 1 に示した逆行列演算結果に各温度モニタ基板 4 0 0 の偏差をそれぞれ乗じることによって算出される。

式 1 1 に示した逆行列演算結果に対し、各温度モニタ基板 4 0 0 の偏差をそれぞれ乗じた結果が式 1 2 に示されている。

## 【0 1 0 0】

## 【数 1 2】

$$\begin{pmatrix} 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -1.922 & 3.033 & 0.165 & 0.119 \\ 0.672 & -0.930 & 1.120 & 0.115 \\ -0.760 & 1.315 & -0.722 & 1.562 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.0 \\ 7.0 \\ 4.9 \\ 7.0 \end{pmatrix} \cdots (12)$$

## 【0 1 0 1】

つまり、各温度モニタ基板 4 0 0 の偏差が例えば全て  $5^{\circ}\text{C}$  の場合には、式 1 2 に示したように、内部熱電対 3 0 2-1 ~ 3 0 2-4 それぞれの内部熱電対温度  $P$  が変化するべき変化量は、それぞれ  $5^{\circ}\text{C}$ 、 $7.0^{\circ}\text{C}$ 、 $4.9^{\circ}\text{C}$ 、 $7.0^{\circ}\text{C}$  になる。

そして、温度コントローラ 4 は、内部熱電対 3 0 2-1 ~ 3 0 2-4 それぞれ

の内部熱電対温度  $P$  が変化すべき変化量が零 (0) になるように、例えば  $PID$  演算などにより、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 それぞれに対する操作量を算出し、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 の出力を制御する。

なお、基板温度の予測制御について、基板エッジ温度  $W$  が設定温度  $S$  に近づくように制御する例について説明したが、これに限ることなく、基板中心温度  $C$  などを設定温度  $S$  に近づくように制御する場合においても同様に制御することができる。

#### 【0102】

基板の処理時においては、外部熱電対 342 および内部熱電対 302 が検出する反応炉 3 内の温度から、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 の干渉比率または干渉行列  $M$  の逆行列演算結果に基づいて、上部モニタ基板 54、下部モニタ基板 56 および中央モニタ基板 58 の予測温度を算出し、算出された基板の予測温度が設定温度  $S$  に一致するように、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 それぞれに対する操作量を算出し、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 の出力を制御する。

温度コントローラ 4 は、ゾーンヒータ 340-1 ~ 340-4 の出力を周期的に制御するので、上部モニタ基板 54、下部モニタ基板 56 および中央モニタ基板 58 の温度が設定温度  $S$  に従って変化するように制御することができる。

#### 【0103】

[基板温度予測制御に必要な温度データの取得]

温度モニタ基板 400 の予測温度は、上述したように、外部熱電対温度  $H$  と内部熱電対温度  $P$  とを用いて一次遅れ演算することにより算出されている。

温度予測パラメータ「 $K1$ ,  $T1$ ,  $K2$ ,  $T2$ ,  $b$ ,  $C$ 」は、基板の温度制御を行う半導体製造装置ごとに、基板の処理を行う以前に調整をしておく必要がある。

これらの温度予測パラメータの調整において、特に、時定数  $T1$ ,  $T2$  を調整する場合には、温度制御を処理時に行う際の周期 (制御周期) と同じ周期で取得された外部熱電対温度  $H$  と、内部熱電対温度  $P$  とが必要になっている。

#### 【0104】

また、半導体処理装置 1 において、装置操作部 2 は、温度コントローラ 4 を介して温度制御を行う周期（制御周期）と、表示・入力部 22 または記録出力部 24 によって温度データを表示または記録する周期とが異なっている。

例えば、温度コントローラ 4（図 2）が内部熱電対 302-1～302-4 および外部熱電対 342-1～342-4 を介して温度データを受入れてから、ゾーンヒータ 340-1～340-4 それぞれに対する操作量を算出し、ゾーンヒータ 340-1～340-4 に対して電力値を出力する周期（制御周期）は 0.5 秒になっている。

一方、装置操作部 2 において、操作制御部 20 が通信部 28 を介し、温度コントローラ 4 から温度データなどを受信し、表示・入力部 22 または記録出力部 24 に出力する周期は 4 秒になっている。

これは、装置操作部 2 および温度コントローラ 4 が通信処理に費やす時間を少なくし、装置操作部 2 の CPU 200 は主にレシピを使用する処理を行い、温度コントローラ 4 の CPU 40 は主に基板を温度制御する処理を行うことができるようにしてあるためである。

#### 【0105】

このように、表示・入力部 22 または記録出力部 24 が温度データを出力する周期が 4 秒であり、温度コントローラ 4 が基板の温度を制御する周期が 0.5 秒である場合には、予測温度を算出するための温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」を調整するために、0.5 秒周期の温度データが表示・入力部 22 または記録出力部 24 から出力されるようにすることが必要である。

つまり、作業者は、0.5 秒周期の温度データを記録出力部 24 などから出力させることにより、図 14 に示したようなグラフを得ることが可能となる。

#### 【0106】

0.5 秒周期の温度データは、例えば、装置操作部 2 の周期変更部 220 によって、装置操作部 2 と温度コントローラ 4 との間の通信周期を変更することができるようにし、作業者が装置操作部 2 から取得する温度データの周期を 4 秒または 0.5 秒のいずれかを選択することができるようにしてもよい。

#### 【0107】

また、装置操作部 2 が 4 秒周期で取得した温度データから 0.5 秒周期の温度データを生成し、4 秒周期の温度データの間に挿入する内挿処理を行うようにしてもよい。

#### 【0108】

さらに、半導体処理装置 1 に対するオプションとなる装置に 0.5 秒周期の温度データを生成させ、4 秒周期の温度データの間に挿入する内挿処理を行わせることにより、温度予測パラメータを調整することができるようにしてもよい。

#### 【0109】

[基板温度予測制御に必要なパラメータの入力]

基板温度予測制御には、温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」、および干渉比率または干渉行列 M の逆行列演算結果などのパラメータを、作業者が装置操作部 2 を介して設定する必要がある。

例えば内部熱電対温度 P の設定温度 S に対し PID 制御を行う際のパラメータなどと同様に、装置操作部 2 は、基板温度予測制御に必要なパラメータを受入れることが好ましい。

また、基板の温度予測制御に必要なパラメータは、基板を処理する温度帯ごとに調整され、それぞれ個別のパラメータテーブルとして設定されることが好ましい。

さらに、パラメータテーブルは、反応炉 3 内で処理される基板の枚数に応じて、個別のパラメータテーブルが設定されるようにしてもよい。

例えばポート 108 に 100 枚の基板を載置して調整した温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」と、ポート 108 に 50 枚の基板を載置して調整した温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」とをそれぞれ設定し、反応炉 3 内で処理される基板の枚数に応じてパラメータテーブルが装置操作部 2 を介して選択されるようにしてもよい。

#### 【0110】

図 18 は、装置操作部 2 の表示・入力部 22 がパラメータを受入れる場合に表示するパラメータ設定画面を示す図である。

図 18 に示すように、パラメータ設定画面は、テーブル選択部 222、モニタ

基板数入力部 224、予測パラメータ入力部 226 および干渉度合い入力部 228 を有する。

#### 【0111】

テーブル選択部 222 は、基板を処理する温度帯などに応じたパラメータテーブルを選択する指示を作業員から受け入れる。

モニタ基板数入力部 224 は、使用される温度モニタ基板 400 の枚数を作業員から受入れる。

このように、半導体処理装置 1 には、温度モニタ基板 400 の枚数が 3 枚よりも多く用いられてもよい。

また、温度モニタ基板 400 の枚数は、1 枚でも、2 枚でもよい。

予測パラメータ入力部 226 は、温度モニタ基板 400 ごとに温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」を作業員から受入れる。

干渉度合い入力部 228 は、温度モニタ基板 400 ごとに干渉比率または干渉行列の逆行列演算結果を、外部熱電対 342-1～342-4 および内部熱電対 302-1～302-4 それぞれに対して作業員から受入れる。

また、干渉比率または干渉行列の逆行列演算結果のいずれのパラメータによって制御されるかをパラメータ設定画面内に表示し、切替え設定可能としてもよい。

#### 【0112】

##### [基板温度予測制御の実行]

基板予測制御の実行は、上述したように、反応炉 3 に設けられた内部熱電対 302 および外部熱電対 342 に対して温度を設定し、温度モニタ基板 400 の温度変化を確認して温度予測パラメータなどを決定する基板予測制御の準備の段階と、準備された温度予測パラメータなどを用いて基板温度予測制御を行って基板を実際に処理する段階とに分けられる。

#### 【0113】

図 19 は、装置操作部 2 の表示・入力部 22 において、基板予測制御の準備をする段階に表示される温度制御設定画面の例を示す図である。

図 20 は、装置操作部 2 の表示・入力部 22 において、基板予測制御を実行し

て基板を処理する段階に表示される温度制御設定画面の例を示す図である。

温度制御設定画面は、例えばタッチパネルなどに表示され、モード選択部 230、温度設定部 232 およびパラメータ設定部 234 を有し、表示と指示の受け入れとを合わせて行うようにしてある。

#### 【0114】

モード選択部 230 は、温度制御設定画面における設定の対象を選択する指示を受け入れ、受入れた指示を表示する。

温度制御設定画面における設定の対象は、例えば内部熱電対 302、外部熱電対 342 および温度モニタ基板 400 などである。

モード選択部 230 において、例えば内部熱電対 302 または外部熱電対 342 が選択されると（図 19 参照）、温度制御設定画面は、基板予測制御の準備をするモードとなり、選択された熱電対に対して各ゾーンごとに設定温度および昇温の傾きの指示を受け入れる表示を温度設定部 232 に表示する。

また、モード選択部 230 において、例えば基板温度予測制御をすることが選択されると（図 20 参照）、温度制御設定画面は、基板予測制御を実行するモードとなり、各温度モニタ基板 400 に対する設定温度および昇温の傾きの指示を受け入れる表示を温度設定部 232 に表示する。

#### 【0115】

温度設定部 232 は、モード選択部 230 において選択されたモードに応じて、設定温度および昇温の傾きの指示を受け入れる表示をする。

さらに、温度設定部 232 は、受入れた指示を表示する。

#### 【0116】

パラメータ設定部 234 は、PID 選択部 236 と、予測制御選択部 238 とを有する。

PID 選択部 236 は、温度設定部 232 で設定された設定温度および昇温の傾きに応じて、例えば PID 制御のためのパラメータ、並びに設定温度の温度帯および処理の対象となる基板の枚数に応じて調整されたパラメータを含むパラメータテーブルを選択する指示を受け入れ、受入れた指示を表示する。

予測制御選択部 238 は、モード選択部 230 において基板予測制御の準備を

するモードが選択されている場合には、温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」が使用されないことを表示する。

また、予測制御選択部238は、モード選択部230において基板予測制御を実行するモードが選択されている場合には、温度設定部232による設定および基板の枚数などに応じた最適な温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」が選択されるように、パラメータが操作制御部20によって自動的に切り替えられることを表示する。

温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」の選択は、予測制御表示部238において、いずれの場合にも作業者が指示するようにしてもよい。

#### 【0117】

このように、作業者は、基板予測制御の準備をすることと、基板温度予測制御を実行して基板を実際に処理することとを装置操作部2を介して選択することができる。

また、基板温度予測制御を行って基板を実際に処理する場合には、温度コントローラ4が予測した基板温度を装置操作部2が受信し、表示・入力部22によって表示させたり、記憶部26に記憶させることができ、作業者は予測温度の状況を基板の処理中または処理後に確認することができる。

#### 【0118】

次に、基板温度予測制御を実行した場合の基板の温度変化について説明する。

図21は、基板予測制御の準備をするモードにおいて、内部熱電対302の温度の応答が設定温度Sの変化に近づくようにゾーンヒータ340の出力をPID演算などによって制御した場合の基板エッジ温度Wと基板中心温度Cの応答を例示するグラフである。

図22は、基板温度予測制御を実行するモードにおいて、基板温度予測制御の対象を基板エッジ温度Wとし、設定温度Sの変化に対する基板エッジ温度Wおよび基板中心温度Cの応答を例示するグラフである。

図21に示すように、温度コントローラ4が装置操作部2の制御に基づいて、内部熱電対302の温度の応答が設定温度Sの変化に近づくようにゾーンヒータ340の出力をPID演算などによって変化させると、基板エッジ温度Wおよび

基板中心温度Cは、それぞれ設定温度S（800° C）に対して大きくオーバーシュートした後に、設定温度Sで安定する。

#### 【0119】

一方、図22に示すように、設定温度Sの変化に対し、基板温度予測制御の対象を基板エッジ温度Wとして基板温度予測制御を実行すると、基板エッジ温度Wおよび基板中心温度Cは、それぞれ設定温度Sを大きくオーバーシュートすることなく設定温度Sで安定する。

図22に示した例においては、基板温度予測制御の対象を基板エッジ温度Wとして、基板エッジ温度Wの予測制御による応答が、基板予測制御の準備をする段階で検出された基板エッジ温度Wの応答に近づくように温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」が調整されているので、基板エッジ温度Wが設定温度Sに対してオーバーシュートすることなく設定温度Sに達して安定し、基板中心温度Cは遅れて昇温し、基板エッジ温度Wよりも遅れて設定温度Sに達して安定する。

#### 【0120】

図23は、基板温度予測制御の対象を基板エッジ温度Wと基板中心温度Cとの平均温度として基板温度予測制御を実行するモードにおいて、設定温度Sの変化に対する基板エッジ温度Wおよび基板中心温度Cの応答を示すグラフである。

図23に示すように、基板温度予測制御の対象を基板エッジ温度Wと基板中心温度Cとの平均温度として、この平均温度の予測制御による応答が基板予測制御の準備をする段階で検出された基板エッジ温度Wと基板中心温度Cとの平均温度に近づくように温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」が調整されているので、基板エッジ温度Wの応答は設定温度Sに対して図21に示した基板エッジ温度Wの応答よりもオーバーシュートが小さくなり、かつ、基板中心温度Cの応答は図22に示し基板中心温度Cの応答よりも1分程度早く設定温度Sに達して安定している。

#### 【0121】

基板温度予測制御の対象は、基板中心温度Cであってもよいし、外周熱電対406-1～406-4、内周熱電対404-1～404-4および中心熱電対4



02の平均温度などであってもよい。

このように、基板温度予測制御の対象を自由に選択し、選択された対象の予測温度の応答を選択された対象の準備段階で検出された温度の応答に近づくように温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」を調整することにより、基板温度の応答を基板温度予測制御の対象に基づいて変化させることができる。

また、温度モニタ基板400の予測温度は、外部熱電対温度Hを用いることなく、内部熱電対温度Pと、基板の温度とを一次遅れ演算することにより算出するようにしてもよい。

#### 【0122】

以上のように、本発明は、特許請求の範囲に記載した事項を特徴とするが、さらに次のような実施形態が含まれる。

(1) 前記加熱手段は、複数のゾーン加熱手段を有し、前記温度検出手段は、前記ゾーン加熱手段それぞれに対応するゾーン温度検出手段を有し、前記制御手段は、温度を予測しようとする基板が他の基板よりも近くなる位置に仮想温度検出手段を設定し、該仮想温度検出手段と前記ゾーン温度検出手段との対応（干渉）関係と、前記ゾーン温度検出手段が測定する測定値に基づいて、前記仮想温度検出手段の検出値を算出し、算出された検出値と、前記仮想温度検出手段により予測された1回前の周期での基板温度とを用いて、前記1回前の周期の次の周期における基板温度を予測し、該基板予測温度に基づいて、前記ゾーン加熱手段それぞれを制御する請求項1記載の基板処理装置。

(2) 前記加熱手段は、複数のゾーン加熱手段を有し、前記温度検出手段は、前記ゾーン加熱手段それぞれに対応する第1のゾーン温度検出手段と第2のゾーン温度検出手段とを有し、前記制御手段は、温度を予測しようとする基板が他の基板よりも近くなる位置に仮想温度検出手段を設定し、該仮想温度検出手段と前記第1のゾーン温度検出手段または第2のゾーン温度検出手段との対応（干渉）関係と、前記第1のゾーン温度検出手段または第2のゾーン温度検出手段が測定する測定値に基づいて、前記仮想温度検出手段の検出値を算出し、算出された検出値と、前記仮想温度検出手段により予測された1回前の周期の基板温度とを用

いて、前記 1 回前の周期の次回の周期における基板温度を予測し、該基板予測温度に基づいて、前記ゾーン加熱手段それぞれを制御する請求項 2 記載の基板処理装置。

(3) 基板を処理する反応室と、前記反応室内を加熱する加熱手段と、前記加熱手段を制御する制御手段と、前記加熱手段と前記基板との間の温度を検出する第 1 の温度検出手段と、前記第 1 の温度検出手段よりも前記基板の近傍で温度を検出する第 2 の温度検出手段とを有する基板処理装置において、前記第 1 の温度検出手段で温度を測定する工程と、前記第 1 の温度検出手段によって測定された温度から第 1 の基板予測温度を算出する工程と、前記第 2 の温度検出手段で温度を測定する工程と、前記第 2 の温度検出手段によって測定された温度から第 2 の基板予測温度を算出する工程と、前記第 1 の基板予測温度と前記第 2 の基板予測温度とを混合し、前記加熱手段を制御する工程とを有する基板処理方法。

#### 【0123】

尚、本発明は、前記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能であることはいうまでもない。

本実施形態では、バッチ式の半導体処理装置の減圧 CVD 装置の場合について説明したが、本発明はこれに限らず、バッチ式の半導体処理装置の拡散装置等の熱処理装置や枚葉装置、その他の基板処理装置全般に適用することができる。

#### 【0124】

##### 【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、基板の温度を予測するようにしたので、容易に基板の温度を制御することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明が適応される半導体処理装置の全体構成を示す図である。

【図 2】 図 1 に示したボートを収容した状態の反応炉およびその周辺を例示する図である。

【図 3】 装置操作部の構成を示す図である。

【図 4】 温度コントローラの構成を示す図である。

【図 5】 半導体処理装置による処理のシーケンスにおいて、反応炉の温度変化

に対応する工程を例示するフローチャート (S10) である。

【図6】反応炉の温度変化の概略を図5に示したS10に対応させて示すグラフである。

【図7】反応炉のランプアップ時における内部熱電対の温度および基板の温度の変化例を示す図である。

【図8】温度モニタ基板の温度検出位置を示す図である。

【図9】ボート内の基板配置例を示す模式図である。

【図10】図7に示した内部熱電対などの温度変化例に対し、外部熱電対の示す外部熱電対温度Hの変化例を追加して示したグラフである。

【図11】4つの温度調節ゾーンにおいて、内部熱電対に対する設定温度Sを、1ゾーンずつ5°Cの昇温 (ステップアップ) をさせた場合に、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタの基板エッジ温度Wが変化した例を示す図表である。

【図12】図11に示した基板エッジ温度Wについて、反応炉内の温度の安定時を基準とした変化量を示す図表である。

【図13】上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれの図12に示した「変化量の合計」に対する4つの温度調節ゾーンそれぞれによる「変化量」の比 (変化量÷変化量の合計) を示す図表である。

【図14】上部温度モニタに対する基板エッジ予測温度 $W'_{top}(t)$ の調整に必要な温度データの例を示すグラフである。

【図15】温度予測パラメータ「K1, T1, K2, T2, b, C」を決定する手順を示すフローチャート (S20) である。

【図16】図16は、上部温度モニタ、下部温度モニタおよび中央温度モニタそれぞれについて、ステップアップに対する基板エッジ温度Wの変化量を示す図表である。

【図17】図16に示したステップアップに対する基板エッジ温度Wの変化量に対し、ステップアップに対する仮想上部モニタ基板の基板エッジ温度Wの変化量を追加して示す図表である。

【図18】装置操作部の表示・入力部がパラメータを受入れる場合に表示する

パラメータ設定画面を示す図である。

【図 19】装置操作部の表示・入力部において、基板予測制御の準備をする段階に表示される温度制御設定画面の例を示す図である。

【図 20】装置操作部の表示・入力部において、基板予測制御を実行する段階に表示される温度制御設定画面の例を示す図である。

【図 21】基板予測制御の準備をするモードにおいて、内部熱電対の温度の応答が設定温度の温度変化に近づくようにヒータの出力を P I D 演算などによって制御した場合の基板エッジ温度と基板中心温度の応答を例示するグラフである。

【図 22】基板温度予測制御を実行するモードにおいて、基板温度予測制御の対象を基板エッジ温度とし、設定温度の変化に対する基板エッジ温度および基板中心温度の応答を例示するグラフである。

【図 23】基板温度予測制御の対象を基板エッジ温度と基板中心温度との平均温度として基板温度予測制御を実行するモードにおいて、設定温度の変化に対する基板エッジ温度および基板中心温度の応答を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

- 1 . . . 半導体処理装置
  - 108 . . . ボート
- 2 . . . 装置操作部
  - 20 . . . 操作制御部
  - 22 . . . 表示・入力部
    - 220 . . . 周期変更部
  - 24 . . . 記録出力部
  - 26 . . . 記憶部
  - 28 . . . 通信部
- 3 . . . 反応炉
  - 30 . . . インナーチューブ
    - 300 . . . 反応室
      - 302-1 ~ 302-4 . . . 内部熱電対
  - 32 . . . アウターチューブ

3 4 . . . ヒータ

3 4 0 - 1 ~ 3 4 0 - 4 . . . ゾーンヒータ

3 4 2 - 1 ~ 3 4 2 - 4 . . . 外部熱電対

4 . . . 温度コントローラ

4 0 0 . . . 温度モニタ基板

4 0 2 . . . 中心熱電対

4 0 4 - 1 ~ 4 0 4 - 4 . . . 内周熱電対

4 0 6 - 1 ~ 4 0 6 - 4 . . . 外周熱電対

5 . . . 基板

5 0 . . . 上部ダミー基板

5 2 . . . 下部ダミー基板

5 4 . . . 上部モニタ基板

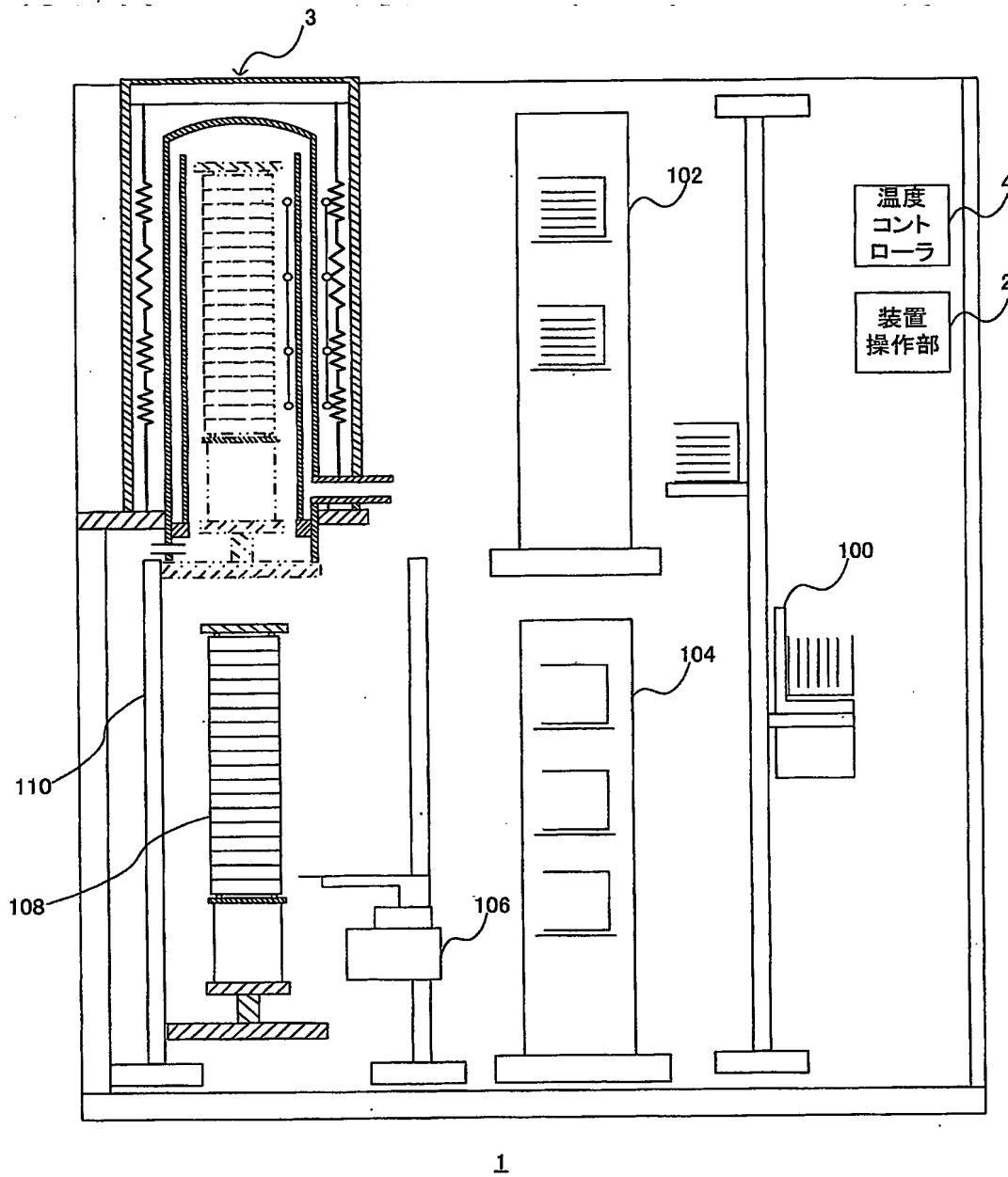
5 6 . . . 下部モニタ基板

5 8 . . . 中央モニタ基板

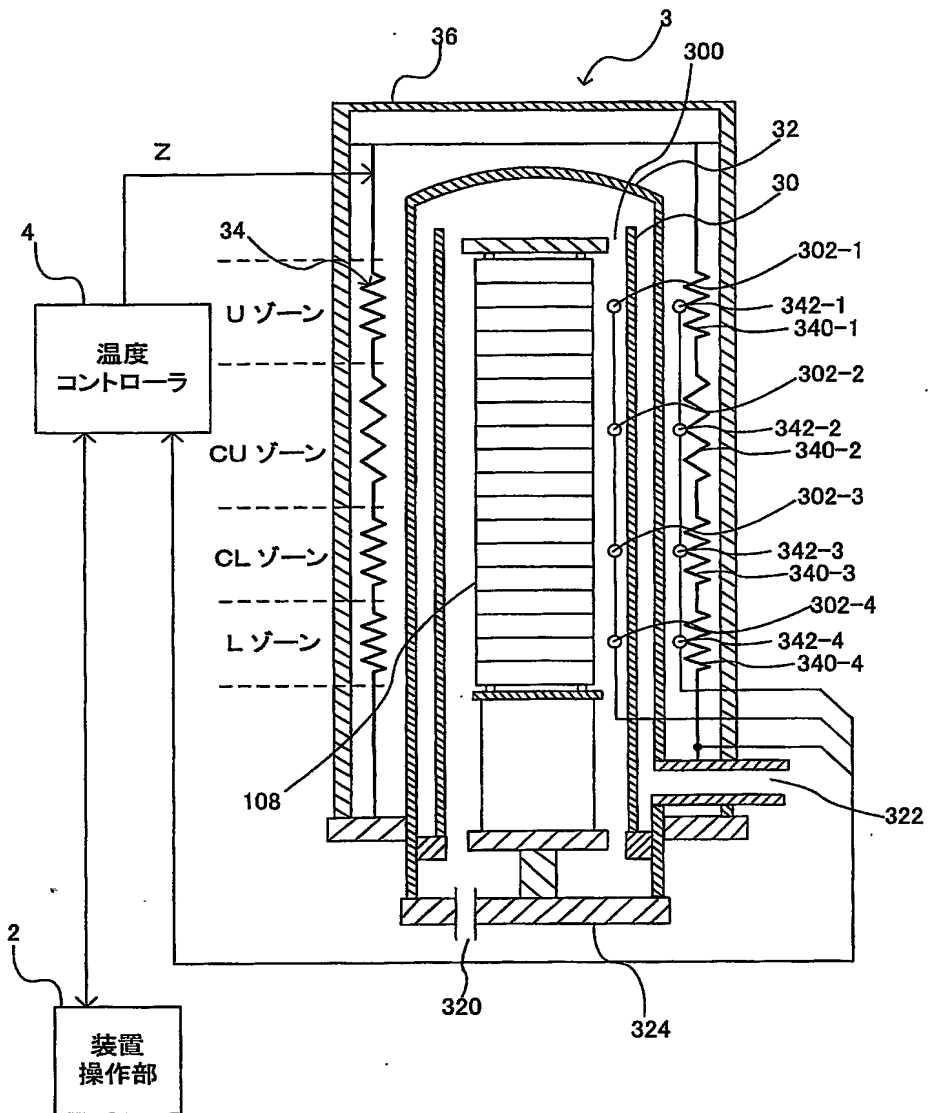
【書類名】

図面

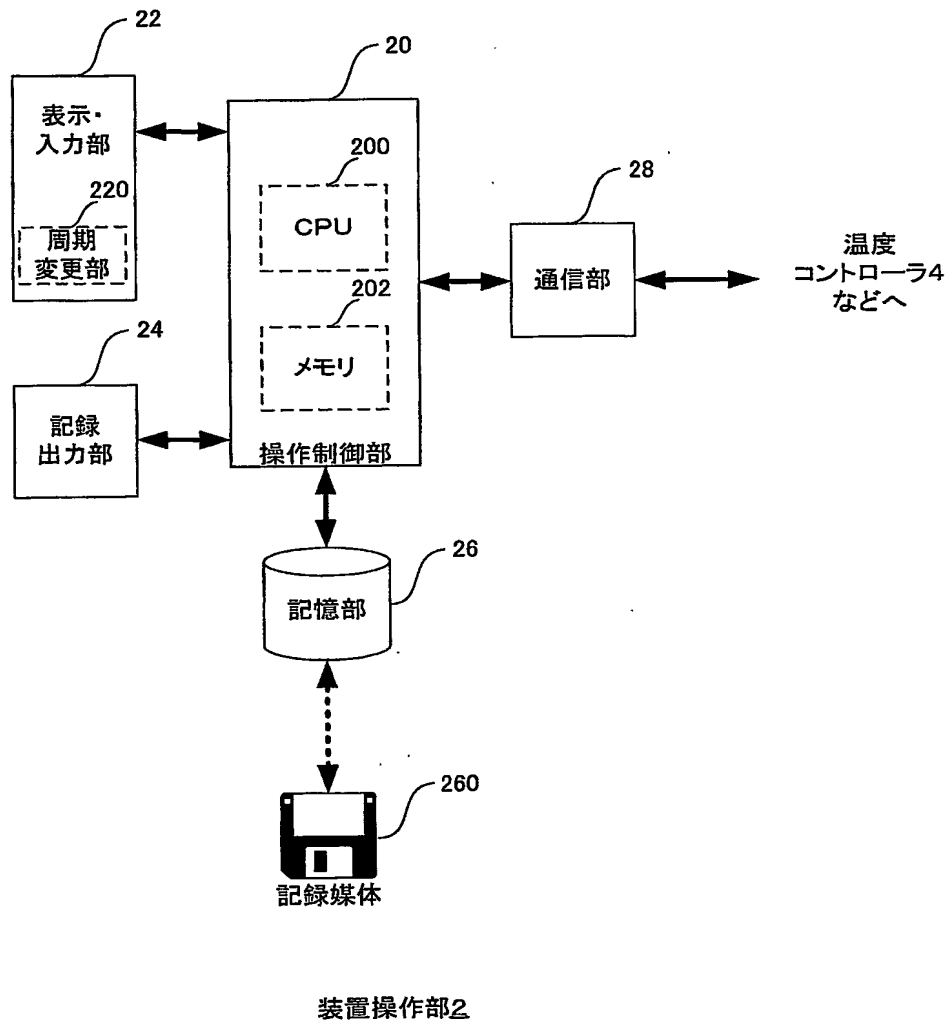
【図 1】



【図 2】

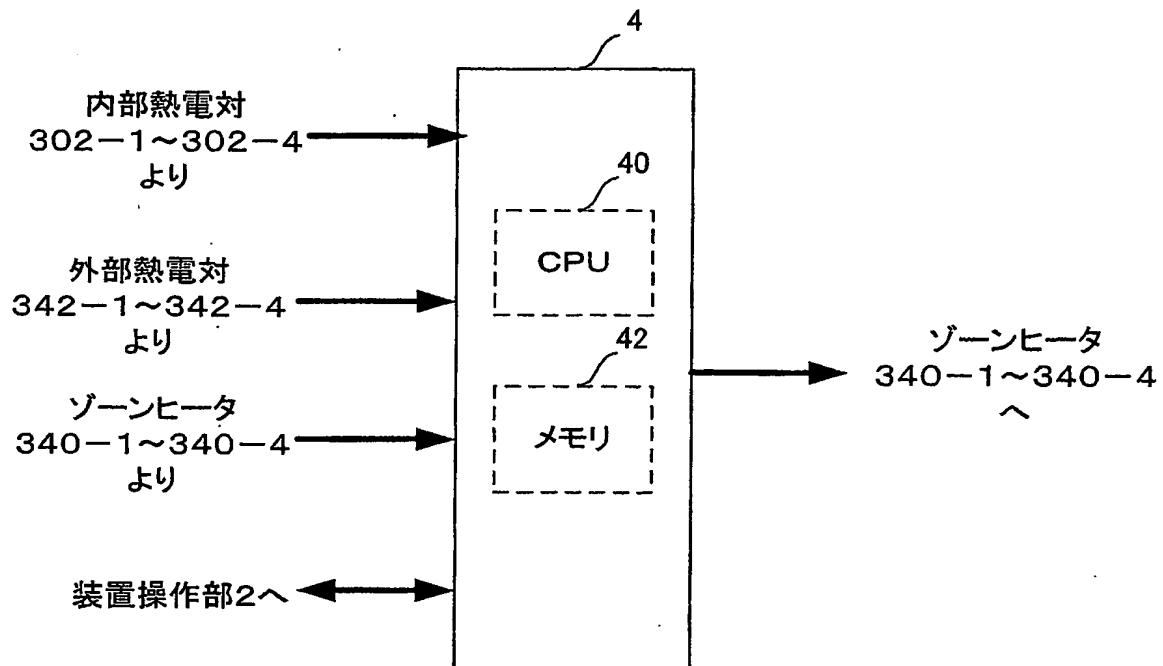


【図 3】

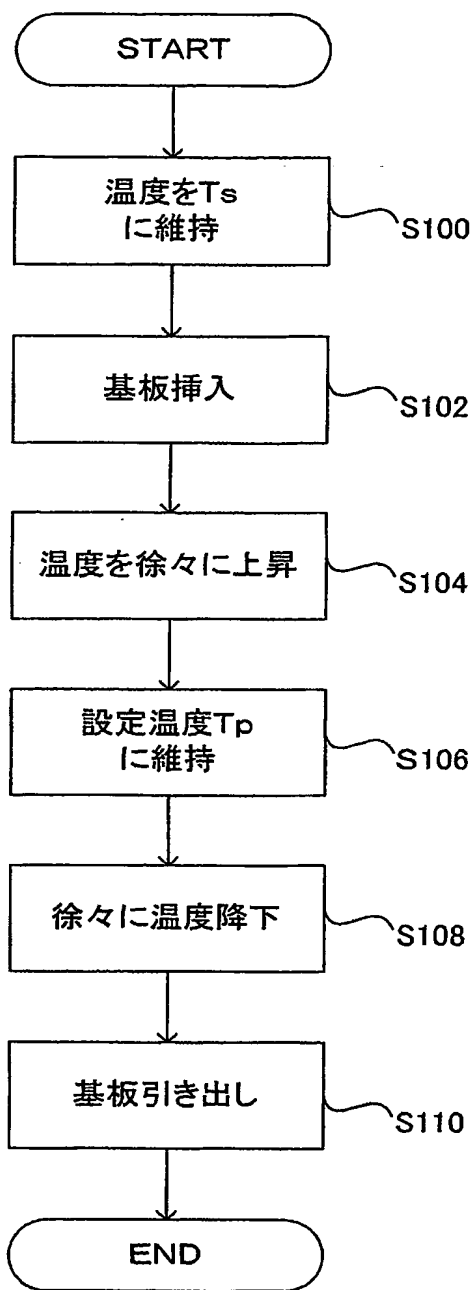




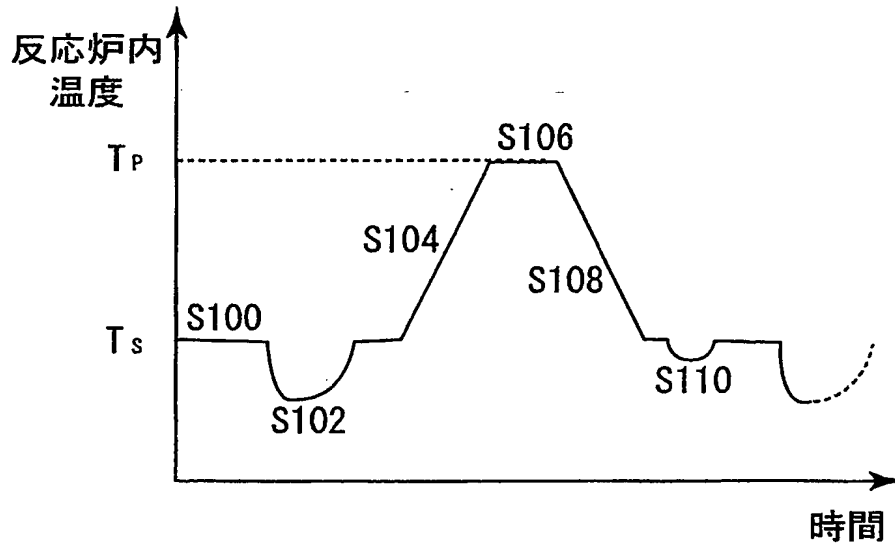
【図 4】



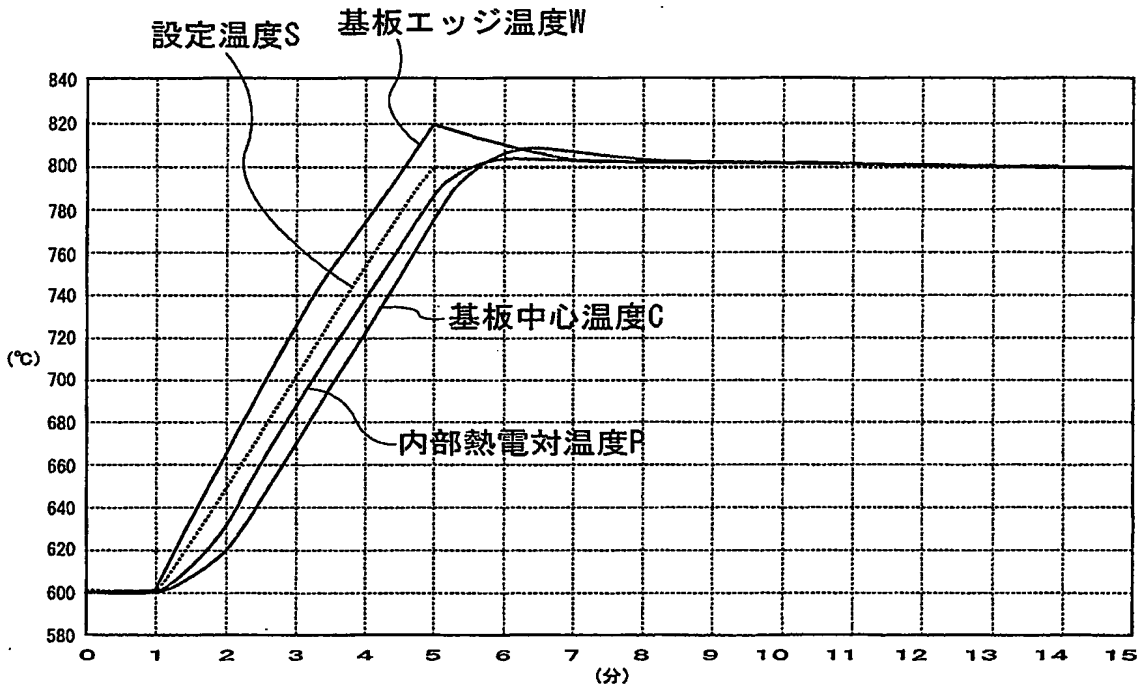
【図 5】

S10

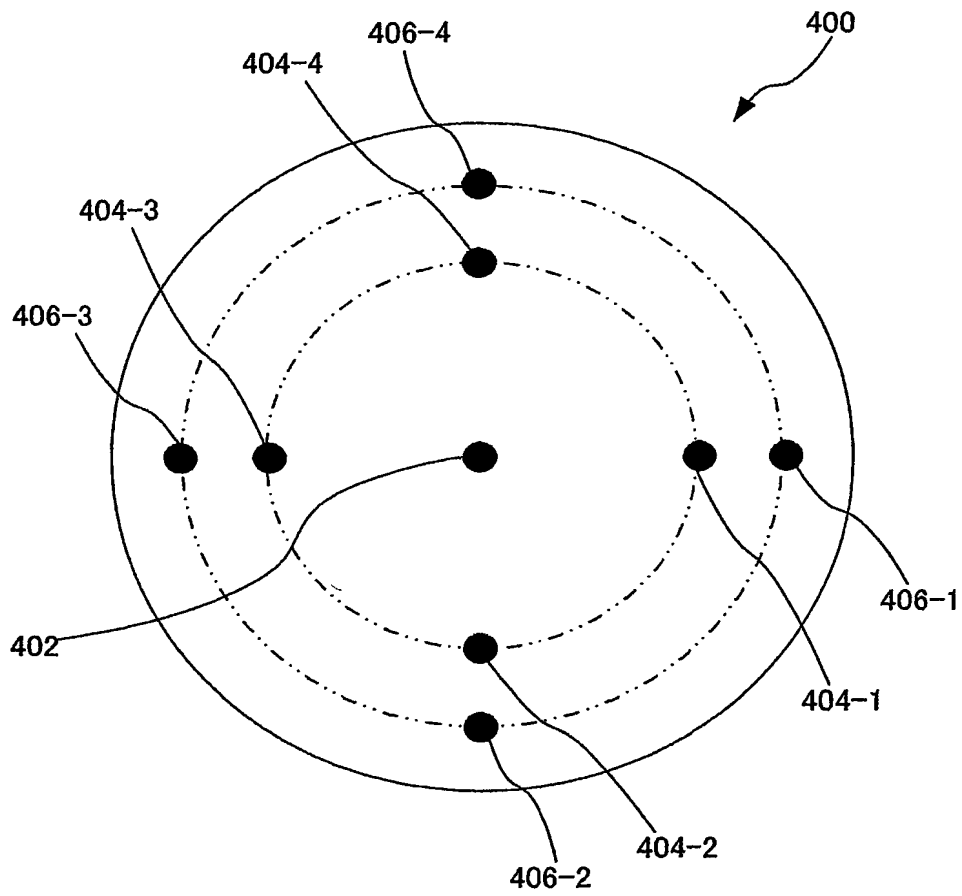
【図 6】



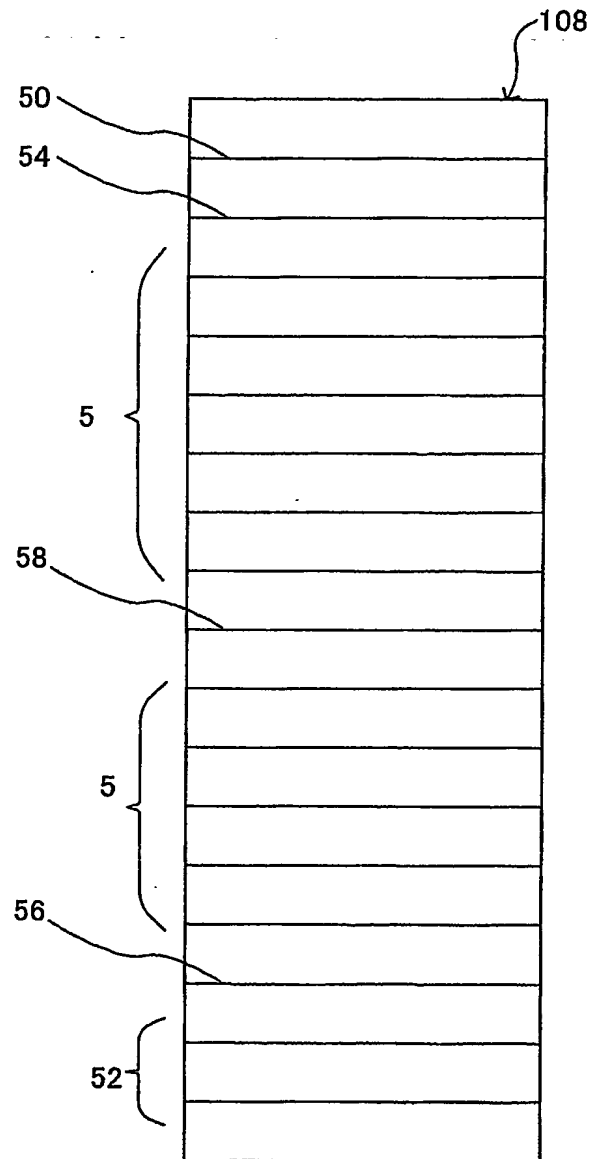
【図 7】



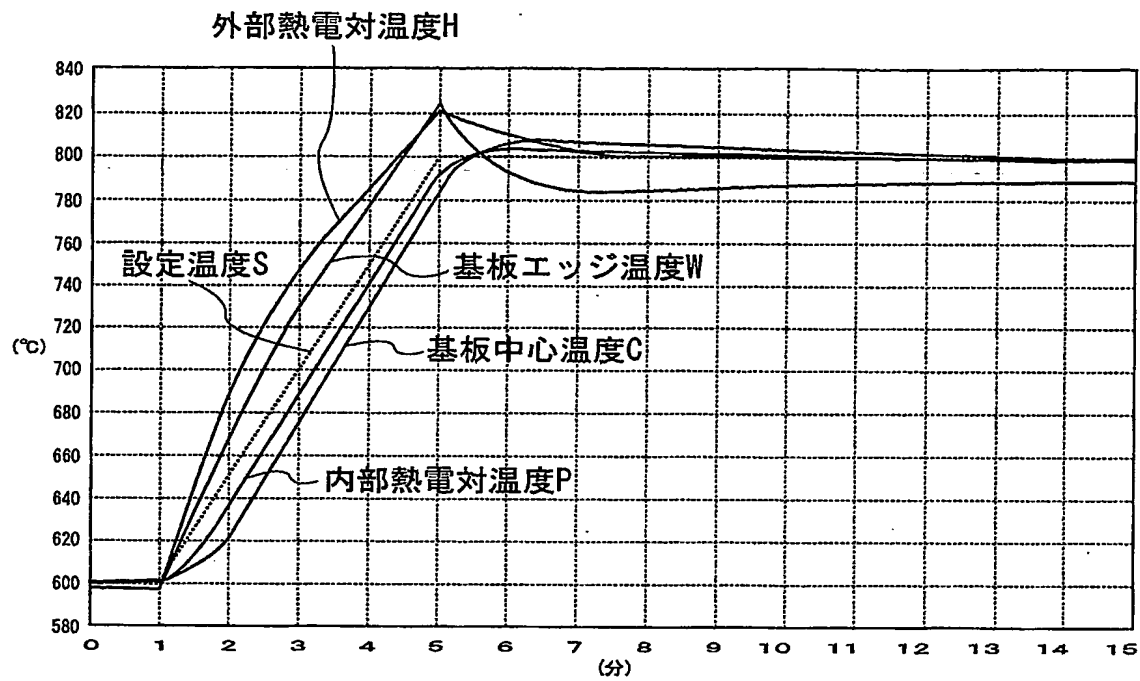
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

	上部温度モニタ	中央温度モニタ	下部温度モニタ
Flat(安定時)	852.4	853.0	853.6
U+5°C	855.6	852.7	853.2
CU+5°C	854.0	854.4	852.9
CL+5°C	852.1	857.0	855.7
L+5°C	852.3	852.6	856.7

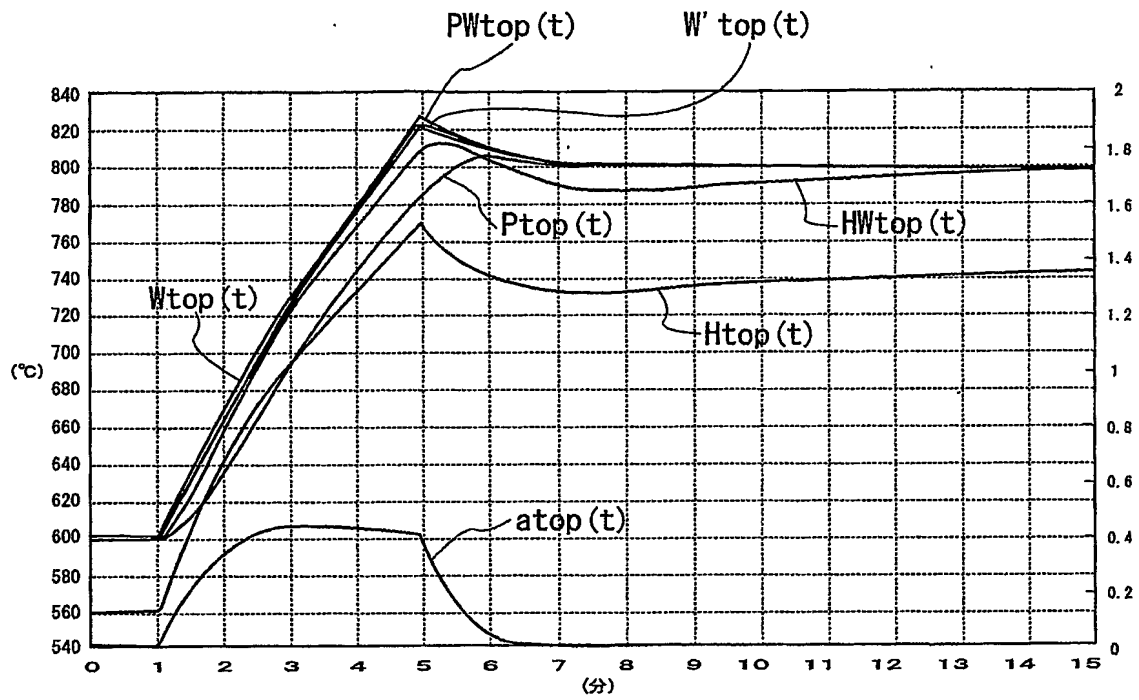
【図 1 2】

変化量	上部温度モニタ	中央温度モニタ	下部温度モニタ
U	3.2	-0.3	-0.4
CU	1.6	1.4	-0.7
CL	-0.3	4.0	2.1
L	-0.1	-0.4	3.1
変化量の合計	4.4	4.7	4.1

【図 1 3】

変化率	上部温度モニタ	中央温度モニタ	下部温度モニタ
U	0.727	-0.064	-0.097
CU	0.364	0.298	-0.171
CL	-0.068	0.851	0.512
L	-0.023	-0.085	0.756
合計	1.000	1.000	1.000

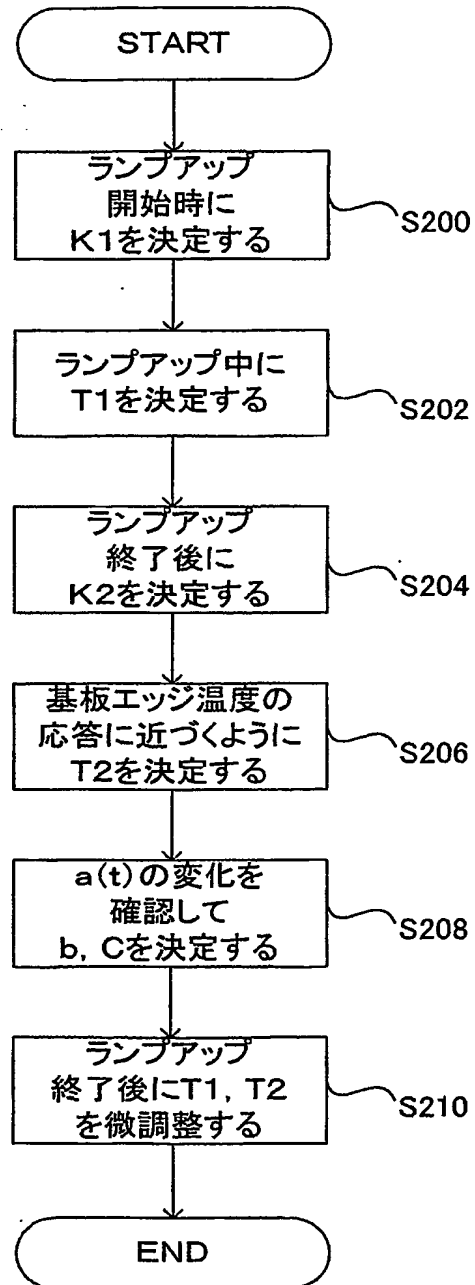
【図 14】



温度予測パラメータ ( $T1=50$ ,  $K1=1.074$ ,  $T2=12S$ ,  $K2=1.072$ ,  $b=40$ ,  $C=1.0$ )



【図 15】

S20

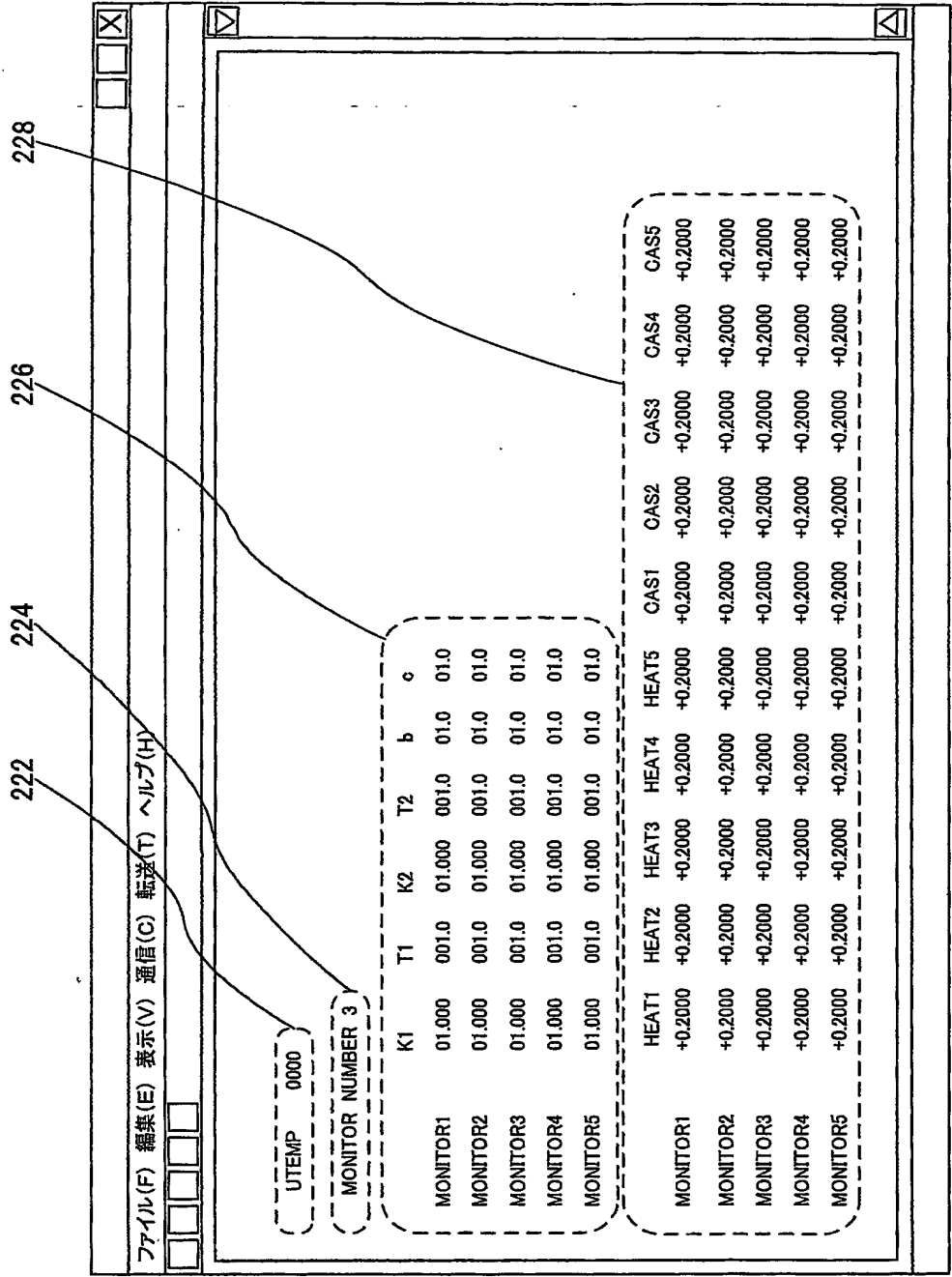
【図 16】

	U	CU	CL	L
上部温度モニタ	0.640	0.320	-0.060	-0.020
中央温度モニタ	-0.060	0.280	0.800	-0.080
下部温度モニタ	-0.080	-0.140	0.420	0.620

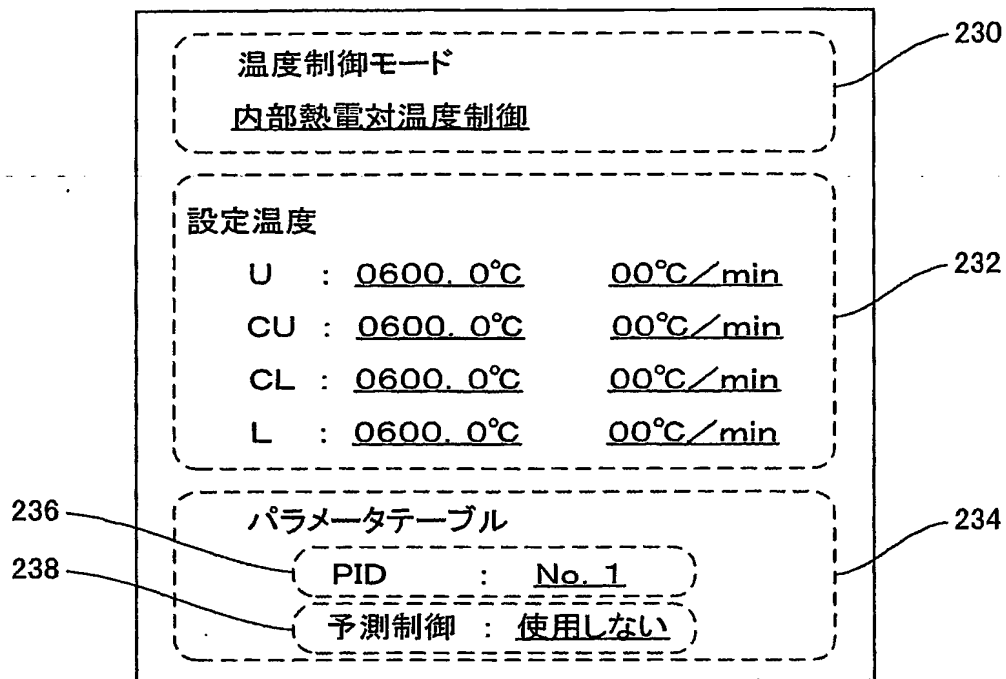
【図 17】

	U	CU	CL	L
仮想上部モニタ基板	1.000	0.000	0.000	0.000
上部温度モニタ	0.640	0.320	-0.060	-0.020
中央温度モニタ	-0.060	0.280	0.800	-0.080
下部温度モニタ	-0.080	-0.140	0.420	0.620

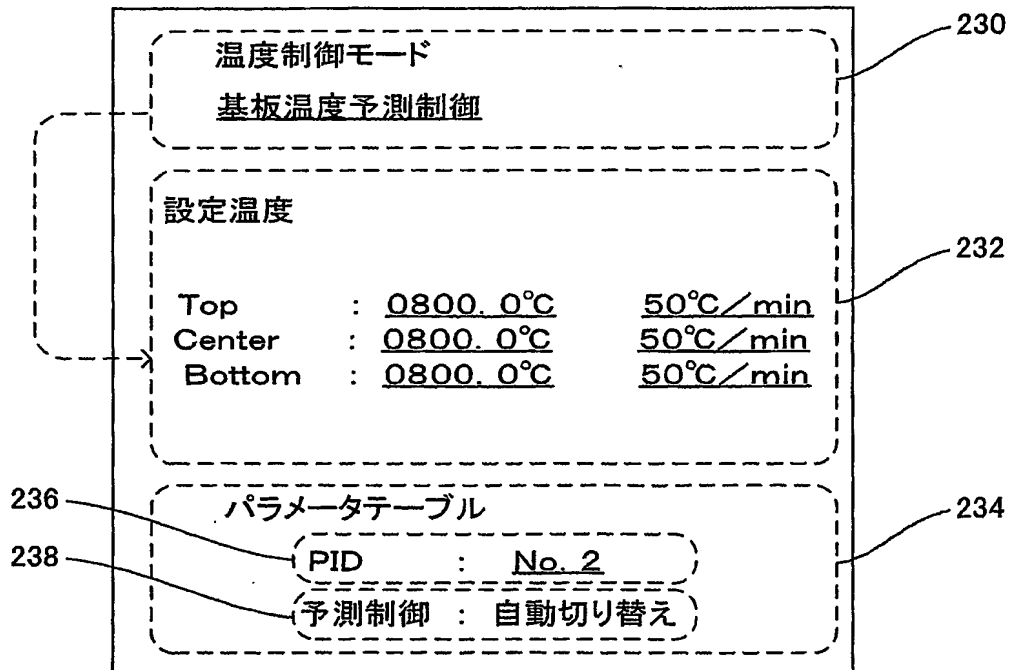
【図 18】



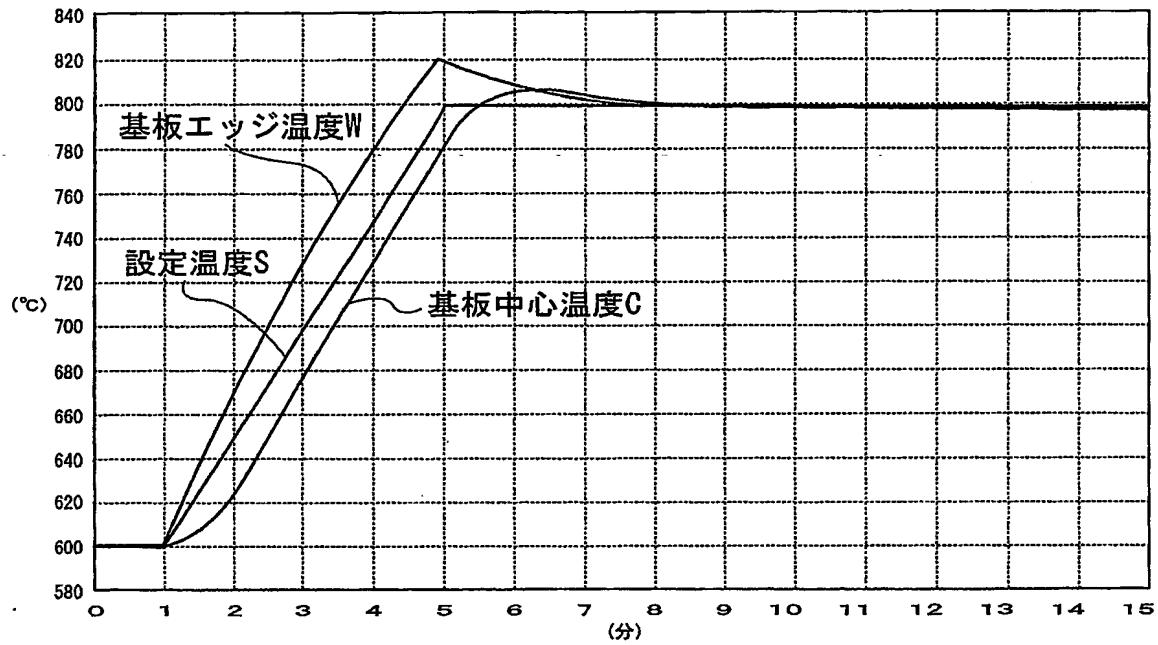
【図 19】



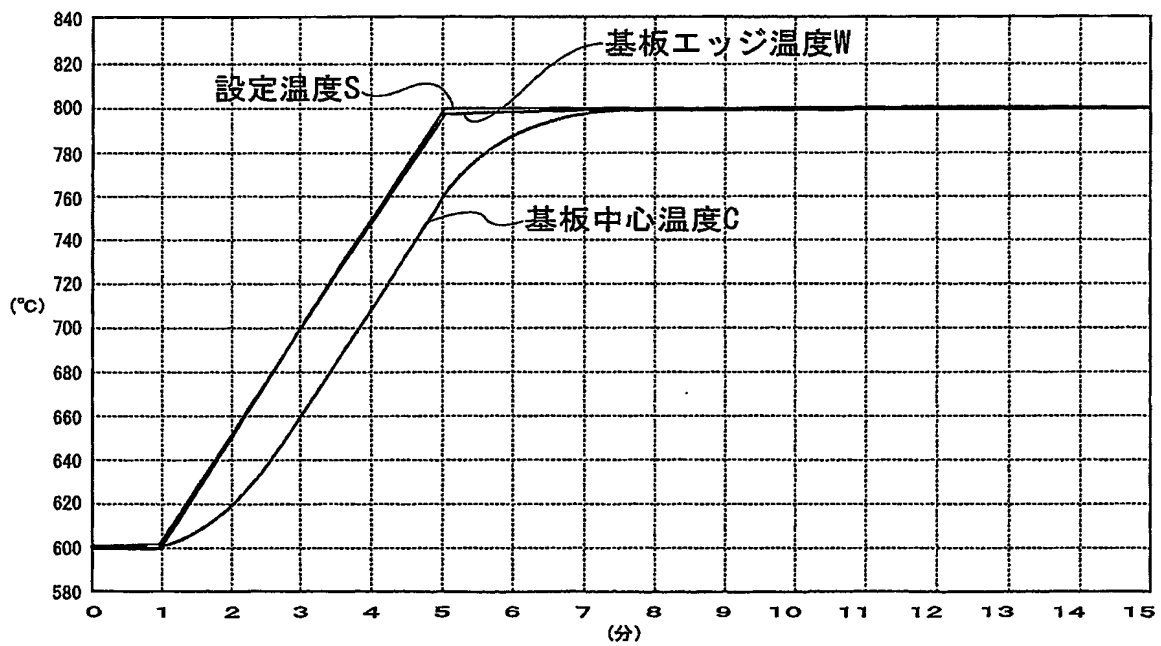
【図 20】



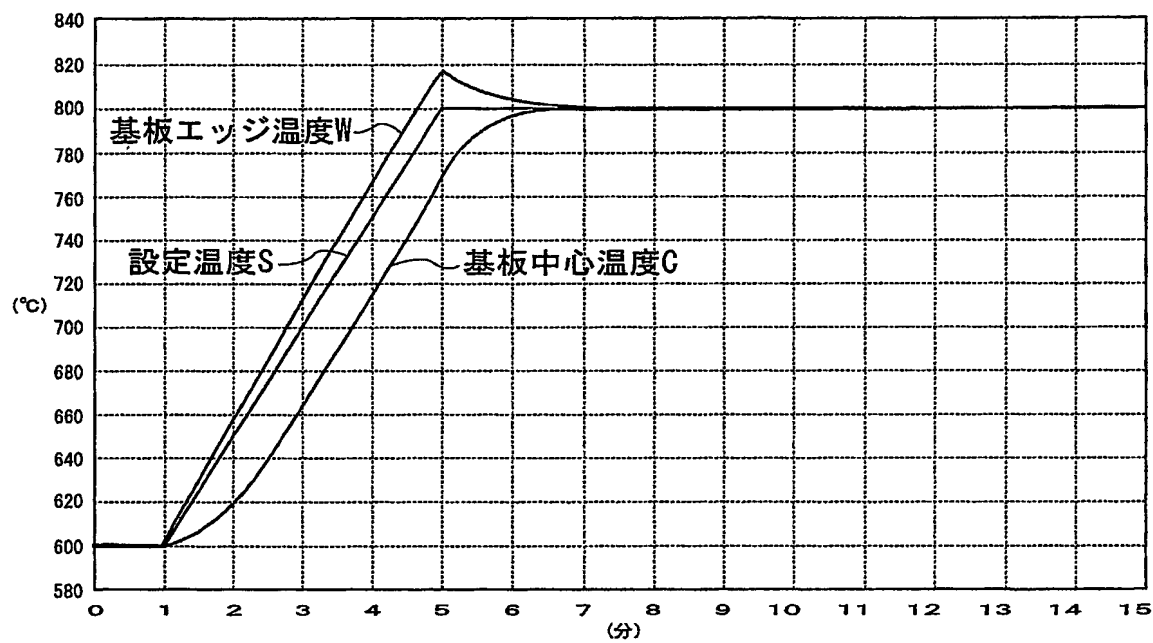
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 23】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 基板の温度を予測し、容易に基板の温度を制御する。

【解決手段】

反応炉（処理室）3には、ゾーンヒータ340-1～340-4により、それぞれ温度の設定および調節が可能な4つの温度調節ゾーンが形成されている。温度コントローラ4は、ゾーンヒータ340-1～340-4によって加熱された基板の温度の時定数に基づいて、内部熱電対302-1～302-4および外部熱電対342-1～342-4が検出した温度を混合して基板の予測温度を一次遅れ演算により算出する。また、温度コントローラ4は、ゾーンヒータ340-1～340-4に対する電力値（操作量）を基板の予測温度を用いて算出し、ゾーンヒータ340-1～340-4に対して出力する。

【選択図】 図2

特願 2 0 0 3 - 2 0 2 4 3 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 1 1 2 2 ]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 1 月 1 1 日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都中野区東中野三丁目 1 4 番 2 0 号

氏 名

株式会社日立国際電気